SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Bartol Marinović

Zagreb, 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentori: Student:

izv. prof. dr. sc. Darko Landek, dipl. ing. Bartol Marinović

Zagreb, 2018.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru dr. sc. Darku Landeku, dr. sc. Gorani Baršić, dr. sc. Ivanu Stojanoviću, mag. ing. Ivanu Primorcu i dr.sc. Saši Kovačiću na stručnoj pomoći. Također se zahvaljujem svojoj obitelji i zaručnici na podršci i razumijevanju.

Bartol Marinović

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum: 23 -02- 2018	Prilog
Klasa: 602-04/18-6/3	
Ur.broj: 15-1703-18-111	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Bartol Marinović** Mat. br.: 0035198200

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Utjecaj stanja površine na svojstva nitrokarburiranog sloja**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Effect of surface condition on properties of the nitrocarburised layer**

Opis zadatka:

Postupkom nitrokarburiranja u solnoj kupci može se značajno povisiti otpornost na trošenje i korozijska postojanost dijelova i alata. Na svojstva nitrokarburiranog sloja značajno utječu kemijski sastav, svojstva i polazno stanje površine materijala, karakteristike solne kupke te parametri postupka.

U teorijskom dijelu rada treba opisati utjecaj navedenih čimbenika na mikrostrukturna i mehanička svojstva sloja s detaljnijim prikazom postupaka pripreme i čišćenja površina prije nitrokarburiranja.

U eksperimentalnom dijelu rada treba planirati i provesti ispitivanja utjecaja postupaka pjeskarenja, brušenja i poliranja poboljšanog čelika DIN C35 na vizualni izgled i hrapavost površine, mikrotvrdoću i mikrostrukturu površinskog sloja te korozijsku postojanost nakon nitrokarburiranja u solnoj kupci TENIFER.

Na temelju provedenih ispitivanja procijeniti utjecaj završne obrade površine na svojstva nitrokarburiranog čelika i predložiti optimalni postupak pripreme površine prije nitrokarburiranja.

U radu treba navesti korištenu literaturu i dobivenu stručnu pomoć

Zadatak zadan:

30. studenog 2017.

Rok predaje rada:
1. rok: 23. veljače 2018.
2. rok (izvanredni): 28. lipnja 2018.
3. rok: 21. rujna 2018.

Predviđeni datumi obrane:
1. rok: 26.2. - 2.3. 2018.
2. rok (izvanredni): 2.7. 2018.
3. rok: 24.9. - 28.9. 2018.

Zadatak zadao:

Izv. prof. dr. sc. Darko Landek

Predsjednik Povjerenstva:

Izv. prof. dr. sc. Branko Bauer

SADRŽAJ

POPIS SLIKA

POPIS TABLICA

POPIS OZNAKA

ε- faza	Fe_2N ili Fe_3N
γ`-faza	Fe_4N
R_a	Srednje aritmetičko odstupanje profila
R_z	Prosječna visina neravnina
R_{max}	Najveća visina profila
l	Referentna duljina profila
m	Srednja linija profila
p	Profil hrapavosti
R_p	Najveća visina izbočine profila
R_m	Najveća dubina udubine profila
HG	Granična tvrdoća
NHD	Efektivna dubina nitrokarburiranja

SAŽETAK

U radu je provedena su ispitivanja svojstva nitrokarburiranog sloja u solnoj kupci TENIFER ovisno o stupnju površinske obrade. Rad se sastoji od teorijskog i eksperimentalnog dijela. Teorijski dio bavi se klasifikacijom i detaljnim opisom postojećih metoda čišćenja i pripreme površine. Navode se prednosti i nedostaci svakog postupka kao i moguće primjene. Također se objašnjava postupak nitrokarburiranja u solnoj kupci TENIFER. U eksperimentalnom dijelu rada objašnjena su osnovna svojstva čelika C35, nakon čega je objašnjeno pet različitih priprema ispitnih uzoraka izrađenih iz čelika C35. Potom su provedena ispitivanja tvrdoće, površinske hrapavosti, korozijske postojanosti te analiza mikrostrukture prije i nakon postupka nitrokarburiranja. Usporedbom rezultata ispitivanja te njihovim dovođenjem u direktan odnos s kvalitetom pripreme površine donesen je zaključak o optimalnoj površinskoj pripremi. Ovakav tip istraživanja nije ranije proveden na čeliku C35, a može doprinijeti smanjenju troškova u proizvodnji strojnih dijelova načinjenih od te vrste čelika. Na temelju rezultat provedenih ispitivanja, prije nitrokarburiranja čelika C35 u solnoj kupci TENIFER, preporučuje se priprema površine brušenjem papirima gradacije od #600 do #1200 koje će omogućiti nastanak zone spojeva s najmanjom poroznosti i dobru otpornost na koroziju.

Ključne riječi: proces nitrokarburiranja, TENIFER, površinska priprema, čelik C35.

SUMMARY

The following study deals with the properties of the nitrocarburated layer in TENIFER salt bath taking into consideration the degree of surface treatment. The study consists of a theoretical and experimental part. The theoretical part deals with the classification and provides us with a detailed description of the existing methods of surface cleaning and surface preparation. The advantages and disadvantages of each procedure are explained, as well as the possible applications of each of them. The nitrocarburization process in the salt bath TENIFER is also explained. The experimental part of the study explains the basic properties of steel grade C35, as well as the five different types of sample preparations. Moreover, the hardness, surface roughness, corrosion resistance and microstructure analyses of samples have been carried out before and after the nitrocarburization process. By comparing the test results, and by bringing them into direct correlation with the quality of surface preparation, a conclusion has been reached that specifies the optimal surface preparation. This type of research has not previously been carried out on steel grade C35 and can contribute to reducing costs in the production of machine parts made out of this type of steel. Based on the results of the tests carried out, prior to nitrocarburization of steel C35 in the TENIFER salt bath, it is recommended to prepare the surface by grinding with grading papers that has grit size range from # 600 to # 1200, which will allow the formation of smallest porosity and good corrosion resistance of the compaund zone.

Key words: nitrocarburization, TENIFER, surface preparation, steel grade C35.

TEORIJSKI DIO

1. UVOD

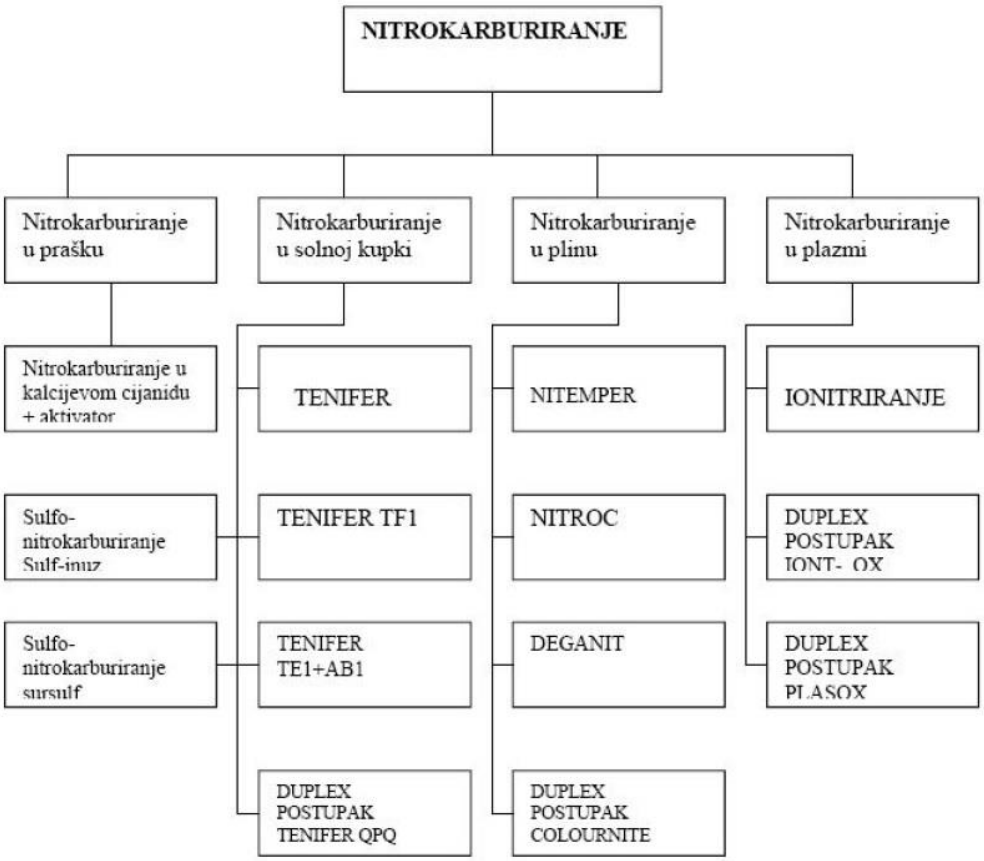
U radu će se detaljno opisati priprema površine i njezin utjecaj na svojstva nitrokarburiranog sloja. Opisat će se postupak nitrokarburiranja u solnoj kupci TENIFER, te njegov položaj u odnosu na druge izvedbe postupka, strukturu difuzijske zone i osnovne kemijske reakcije. Postupci površinske pripreme bit će detaljno opisani i razvrstani po nekoliko kriterija. Početni kriterij za razvrstavanje metoda bit će mehanizam trošenja. Daljnje će se otopine i ostale kemijske smjese razvrstati po sastavu. Svaka metoda bit će sagledana s negativnih i pozitivnih aspekata, te s aspekta mogućnosti primjene. U eksperimentalnom dijelu navest će se osnovna svojstva čelika C35, opisat će se svi koraci površinske pripreme, toplinske obrade, te ispitivanja dobivenih svojstava. Provest će se ispitivanje mikrotvrdoće i površinske hrapavosti, te ispitivanje korozijske postojanosti i mikrostrukture. Iz dobivenih rezultata odredit će se direktna veza između pripreme površine i svojstva nitrokarburiranog sloja u svrhu određivanja optimalne površinske obrade te potencijalnog smanjivanja proizvodnih troškova dijelova izrađenih od čelika C35.

2. NITROKARBURIRANJE POSTUPKOM TENIFER

Strojni dijelovi i alati vrlo su često izloženi složenim mehaničkim opterećenjima, trošenju i djelovanju korozije. Nitrokarburiranje je jedan od najuobičajenijih postupaka kojim se značajno produljuje vijek upotrebe čeličnih dijelova korištenih u teškim eksploatacijskim uvjetima. Nitrokarburiranje je toplinsko-kemijski postupak modifikacije površine koji rezultira povećanjem granice razvlačenja, dinamičke izdržljivosti materijala, otpornosti na povišene temperature, otpornosti na trošenje te povišenjem korozijske postojanosti [1].

Glavna podjela nitrokarburiranja vrši se prema mediju u kojem se proces izvodi:

1. Nitrokarburiranje u slanoj kupki
2. Nitrokarburiranje u plazmi
3. Nitrokarburiranje u plinu
4. Nitrokarburiranje u prašku



Slika 1. Pregled postupka nitrokarburiranja [1]

Postupak TENIFER jedan je od jednostavnijih postupaka nitrokarburiranja. Provodi se u solnoj kupci, sačinjenoj od lužine cijanida i lužine karbonata kao glavnih konstituenata.

Slika 2. Osnovne kemijske reakcije u solnoj kupci TENIFER [2]

Temperatura kupke može varirati u intervalu od 480°C do 630°C, no kao standardna vrijednost obično se koristi 580°C. Dijelovi su predgrijani na temperaturu od 350°C do 400°C pri normalnim atmosferskim uvjetima. Predgrijavanjem se osigurava da u kupku ulaze potpuno suhi dijelovi te da njena temperatura ne padne ispod 540°C što može negativno utjecati na zonu spojeva. Nakon što vrijeme istekne, dijelovi se hlade.

Hlađenje je moguće izvesti u više medija:

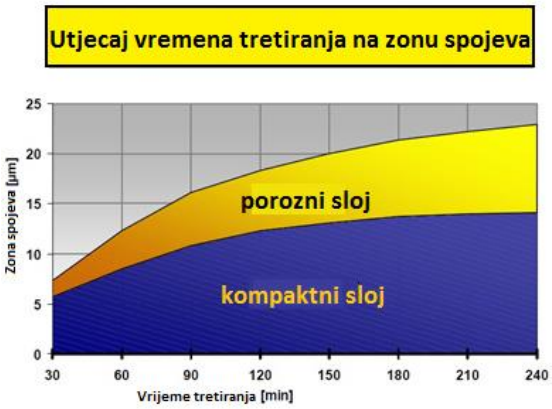
1. Vodom
2. Oksidirajućom kupkom AB1
3. Strujanjem zraka
4. Uljem za hlađenje
5. Dušikom

Postupak je prihvaćen u širokom nizu primjena jer na ekonomičan način može zadovoljiti tražena svojstva [3].

Nitrokarburirana površina dijeli se na dvije zone – zonu spojeva i difuzijsku zonu. Ukupna debljina difuzijske zone ovisi o površinskoj pripremi nitrokarburiranog dijela, temperaturi i sastavu kupke, te trajanju procesa.

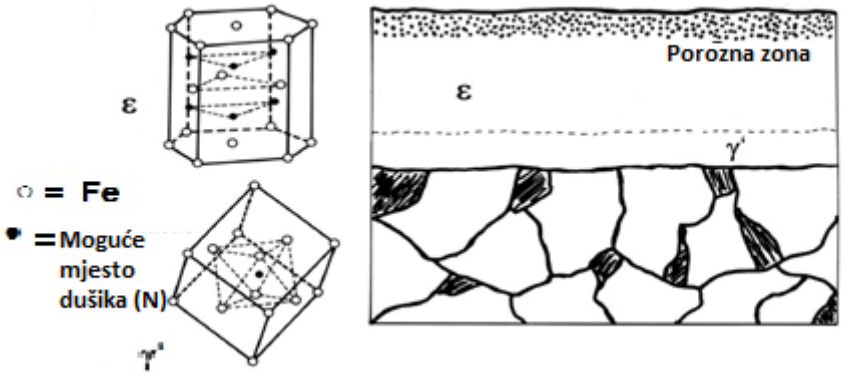
Zona spojeva nalazi se na samoj površini dijela. Nastaje kada dušik dosegne granicu topivosti u feritu. Zona spojeva se nakon nitrokarburiranja u solnoj kupci TF1 obično sastoji od ε+ γ` nitrida. Po kemijskom sastavu ε -faza je $Fe_3N$ ili $Fe_2N$, a γ `- faza je nitridi Fe_4N.

Također mogu biti prisutni oksidi željezo Fe_2O_3, Fe_2O_4 i karbonitridi. Debljina zone spojeva iznosi najviše do 20 μm. Najbolja otpornost na trošenje zapažena je kod slojeva koji se pretežno sastoje od ε-faze Fe_3N. Na debljinu zone spojeva utječe temperatura kupke, udio cijanida, materijal te vrijeme trajanja postupka. Veći udio legirnih elemenata smanjuje debljinu zone spojeva te sveukupnu dubinu nitriranja. Porastom vremena tretiranja površine dolazi do rasta poroznog sloja zone spojeva [4].



Slika 3. Utjecaj trajanja postupka na poroznost zone spojeva [2]

Difuzijska zona nalazi se ispod zone spojeva. Dušik je automatski otopljen u željeznu rešetku. Difuzijska zona sadrži kemijske elemente dušik, ugljik, kisik (u čvrstom ili djelomično precipitiranom stanju) dovedene u materijal tijekom nitrokarburiranja. Debljina difuzijske zone ovisi o topivosti dušika u kristalnoj rešetci α - željeza. Topivost je ovisna o temperaturi nitrokarburiranja, a maksimalno može iznositi 0,1 % N. Strukturu difuzijske zone čine α mješanci, γ' željezni nitridi, te karbidi i karbonitridi.



Slika 4. Struktura nitrokarburiranog sloja

3. METODE PRIPREME POVRŠINE PRIJE NITROKARBURIRANJA

3.1. Mehaničko čišćenje površine

Mehaničko čišćenje površine može se provesti pjeskarenjem, četkanjem, čišćenjem CO_2 granulatom, čišćenjem CO_2 snijegom, ispuhivanjem mlaza zraka, vodenim mlazom, ultrazvučno uz pomoć leda, te vakuumskim prskanjem.

3.1.1. Abrazijsko čišćenje

U abrazivno čišćenje ubraja se velik broj metoda kojima je zajedničko da abrazivni medij ubrzavamo u mlazu plina ili tekućine. Primarni postupak abrazijskog čišćenja površine je *pjeskarenje*, metoda koja za abrazivni medij koristi pijesak.

PRIMJENA:

Postupak efektivno uklanjanja koroziju, kamenac i boje.

PREDNOSTI:

Kao abrazivni medij mogu se koristiti metalne kuglice – *sačmarenje*, polimerne kuglice – *plastic media blasting (PMB)*, staklene čestice ili organski medij poput zdrobljenih ljuski lješnjaka, pšenične škrobi i zrna kukuruza. Postoje nove izvedbe postupka abrazivnog čišćenja koje koriste CO_2 granulat i sodu bikarbonu- *BOSS(Bicarbonate of Soda Stripping)* kao abrazivni medij.

NEDOSTACI:

Površinska priprema abrazivnim medijem može narušiti korozijsku postojanost, izmijeniti dimenzije i stupanj završne površinske obrade. Problem nastaje kod odvajanja abrazivnih čestica od odstranjenog materijala te odlaganja otpada koji je često opasan. Potrebno je zaštititi radnike od udisanja čestica koje su sadržane u zraku za vrijeme i neposredno nakon abrazivnog čišćenja [5].

3.1.2. Četkanje

PRIMJENA:

Četkanje je efektivno kod uklanjanja boje, kamenca, produkata korozije, viška metala zavara, oksidnog filma, te ostalih čvrsto prionjivih materijala.

PREDNOSTI:

Četke mogu biti izrađene od žice ili sintetičkog materijala koji može biti impregniran raznim abrazivnim česticama.

NEDOSTACI:

Četkanjem također možemo ukloniti i dio osnovnog materijala [5].

3.1.3. Čišćenje CO_2 granulatom

PRIMJENA:

Čišćenje CO_2 granulatom može zamijeniti postupak klasičnog pjeskarenja. CO_2 granule udaraju u površinu te abrazivnim mehanizmom odnose nečistoće.

PREDNOSTI:

Glavna prednost u odnosu na pjeskarenje su granule koje se pri dodiru s površinom pretvaraju u plin. Jedini nastali otpad predstavljaju nečistoće uklonjene s površine. Granule mogu biti formirane u raznim veličinama, koristimo suhi led, također možemo kontrolirati i njihovu brzinu.

NEDOSTACI:

Postoji opasnost od oštećivanja tankih presjeka, a veliki problem predstavlja CO_2 kao staklenički plin [5].

3.1.4. Čišćenje CO_2 snijegom

Ugljikov dioksid se povlači iz plinskog cilindra te se širi kroz mlaznicu kako bi formirao pahulje suhog leda koje uklanjaju male čestice i otiske prstiju.

PRIMJENA:

Postupak je prikladan za čišćenje osjetljivih površina, teško nedostupnih mjesta te primjenu gdje je potreban viši nivo čistoće površine.

PREDNOSTI:

Proces je moguće prilagoditi raznim primjenama, a pošto nema agresivnih medija u otpadu, cijena odlaganja puno je manja. Efektivna je zamjena za freon kod hlađenja dijelova pri testiranju na deformiranje uzrokovana zaostalim naprezanjima.

NEDOSTACI:

Ova vrsta čišćenja nije djelotvorna za uklanjanje tvrdokornog kamenca. Povrh toga, ugljikov dioksid treba pročistiti kako ne bi došlo do zagađivanja površine [5].

3.1.5. Ispuhivanje mlazom zraka

PRIMJENA:

Filtriran i stlačeni zrak koristimo za uklanjanje prašine i sitnih čestica s površine.

PREDNOSTI:

Ionizirani zrak može spriječiti nabijanje površine elektricitetom ako su u pitanju nemetalni dijelovi. Postupak je jeftin i ne stvara otpad.

NEDOSTACI:

Nije dovoljno snažan za uklanjanje većine nečistoća [5].

3.1.6. Čišćenje vodenim mlazom

PRIMJENA:

Pumpa visokog pritiska opskrbljuje rotirajuću mlaznicu vodom ili vodenom otopinom kemikalija. Vodeni mlaz udara u čišćenu površinu te uklanja nečistoće i boju. Voda se nakon toga filtrira od uklonjenog otpada te se vraća u proces radi ponovne upotrebe.

PREDNOSTI:

Postupak je brz i efektivan, kompatibilan je s većinom materijala. Cijena vode i sustava srednjeg pritiska relativno je niska.

NEDOSTACI:

Filtrirani otpad može biti opasan, često je potrebna automatizacija zbog potencijalne opasnosti vodenog mlaza, oprema za stvaranje visokih pritisaka može biti jako skupa, te metalni dijelovi zahtijevaju brzo sušenje kako ne bi došlo do korozije [5].

3.1.7. Ultrazvučno čišćenje ledom

PRIMJENA:

Sitne ledene čestice kreću se visokim brzinama te udaraju u površinu s koje odnose boju, masnoće i prljavštinu.

PREDNOSTI:

Led isparava pri udaru s površinom, otpad sadržava samo tvari uklonjene s površine.

NEDOSTACI:

Postupak je u eksperimentalnoj fazi, no pokazuje obećavajuće rezultate [5].

3.1.8. Vakuumsko prskanje

PRIMJENA:

Medij je ubrzan prema površini koristeći vakumski sistem, a ne stlačeni zrak. Ovaj sistem omogućava korištenje raznih četki i igli pri uklanjanju prljavštine i kamenca.

PREDNOSTI:

Ovaj proces omogućava ponovnu uporabu medija i ne stvara otpad, radnici su zaštićeni od potencijalno opasnih materijala, a četke i igle smanjuju potrošnju medija.

NEDOSTACI:

Postupak je nešto sporiji od klasičnih postupaka koji koriste stlačeni zrak te vakuum sistem predstavlja veću početnu investiciju [5].

3.2. Kemijsko čišćenje površine vodenim otopinama

Kemijsko čišćenje površine vodenim otopinama dijelimo na kemijsko čišćenje kiselim, neutralnim i lužnatim vodenim otopinama.

3.2.1. Kisele vodene otopine

Kisele vodene otopine sadrže minerale kroma ili organske kiseline. Također mogu sadržavati deterdžent, kelatno sredstvo i male količine otapala pomiješanih s vodom. Koriste se za uklanjanje korozije, kamenca i oksida. Otpad je potrebno pH neutralizirati, radnici u dodiru moraju zaštititi oči i kožu koja je izložena kiselini. Na neke materijale kiselina štetno djeluje čak i u kratkom roku [5].

Biocro Coroclean

Biocro Coroclean je biorazgradiva vodena otopina blagih organskih kiselina i površinski aktivnih sastojaka namijenjena za skidanje vodenog kamenca, sigurno i brzo zaustavljanje korozije i otklanjanje hrđe s metalnih površina. Prikladan je u svim granama industrije: mljekarskoj industriji, prehrambenoj industriji, toplanama, servisima i remontnoj djelatnosti te u domaćinstvima gdje vodeni kamenac i korozija uzrokuju probleme i kvarove uslijed znatnog oštećenja materijala. Vrlo efikasno skida kamenac s keramičkih pločica u kupaonicama, restoranima, bazenima. Biocro Coroclean je biorazgradiv, nije zapaljiv, nije otrovan, nije korozivan, ne sadrži otapala fosfata te kao takav uspješno zamjenjuje dosadašnju upotrebu opasnih kiselina [6].

3.2.2. Neutralne vodene otopine

Neutralne vodene otopine vodene su otopine čiji je pH gotovo neutralan. Ovakve otopine odlične su za primjenu prskanjem ili ultrazvučnu primjenu. Nisu prikladne za primjenu kod procesa koji zahtijevaju kemijsku reakciju spajanja s tvari na površini koju čistimo. Prikladne su za uklanjanje soli, organskih prljavština i organskih čestica. Opremu je vrlo lako prilagoditi, a najveću opasnost predstavlja korozija. Tvrdoća vode koja se koristi pri čišćenju uvelike utječe na kvalitetu rezultata. Iako se radi o neutralnoj vodenoj otopini, potrebno je provjeriti smijemo li je bacati sa slivnim vodama [5].

3.2.3. Lužnate vodene otopine

Lužnate vodene otopine imaju pH vrijednost u rasponu od pH8 do pH14, te se uz dodatak aditiva koriste za čišćenje rashladnih tekućina, ulja za rezanje, prljavštine, otisaka prstiju, vazelina i boja na bazi vode s površine dijela. Koristimo ih za čišćenje dijelova motora, hidrauličkih ventila, te aluminijskih odljevaka. Visoka pH vrijednost ne znači da će efekt čišćenja biti jači. Ovakve otopine su jeftine, no ovisno o zakonu i načinu sanacije slivnih voda na lokalnoj razini trošak baratanja otpadom može biti skup. Ako uložimo novac u sustav filtriranja, lužnate otopine možemo iznova koristiti, te na taj način možemo smanjiti količinu otpada i cijenu baratanja istim [5].

3.3. Kemijsko čišćenje vodenim emulzijama

Polu-vodene otopine nalaze se na razmeđu između vodenih otopina i otapala. Ovaj proces čišćenja može se opisati kao postupak korištenja otapala s niskim tlakom isparivanja koja su isprana ili razrijeđena vodom ili kao postupak korištenja kemikalija koje s vodom čine emulzije uz aditive za smanjivanje površinske napetosti. Dijele se na *vodene mješavine s deterdžentom* bazirane na ugljikovodicima nafte, terpena, estera i glikol etera, te na *vodenu mješavinu spojeva* kao što su alkohol, ketoni i amini [5].

PRIMJENA:

Ove vodene mješavine koristimo za uklanjanje voska, ulja i katrana.

PREDNOSTI:

Ne zahtijevaju temeljito ispiranje nakon primjene, neutralne mješavine neće nagristi osnovni metal, a neke su i biorazgradive. Otpad pri ovakvom čišćenju sadrži malu koncentraciju metala. Moguće je također reciklirati mješavinu korištenjem filtera u obliku membrana.

NEDOSTACI:

Glavni negativni faktori su cijena kemikalija te visoka inicijalna ulaganja. Također moramo imati na umu da je količina slivnih voda veća nego kod otapala i vodenih otopina ako ne koristimo filtraciju [5].

3.4. Kemijsko čišćenje organskim otapalima

Kemijsko čišćenje površine organskim otapalima može se provesti acetonom, alkoholom, naftnim derivatima, alifatskim ugljikovodicima, N-metil-2-pirolidonom, diabazičnim esterima, glikol eterima, etil laktatom, hlapivim metil siloksanom, floro-ugljikovodikom, te floro-vodičnim eterima.

3.4.1. Aceton

PRIMJENA:

Aceton se koristi kao otapalo kod preciznog čišćenja, efektivan je i kao sredstvo za sušenje.

PREDNOSTI:

Aceton spada u organska otapala klasificirana kao ketoni, te ga možemo koristiti u kombinaciji s 99,9% etanolom u omjeru 50:50.

NEDOSTACI:

Aceton spada u VOCs (Volatile organic compounds), odnosno hlapljive organske spojeve. Iznimno je zapaljiv, a ovisno o primijenjenoj količini na materijal potrebno je zatražiti dozvolu za primjenu [5].

3.4.2. Alkohol

PRIMJENA:

Alkohol se koristi kao otapalo za čišćenje te sredstvo za sušenje površine. Koristi se u spremnicima za uranjanje ili za ručno brisanje.

PREDNOSTI:

Kompatibilan je s većinom materijala, uz iznimku polimera i elastomera.

NEDOSTACI:

Nije efektivan za čišćenje nepolarnih tvari poput voska i ulja. Metanol može uzrokovati zdravstvene tegobe, spada u VOCs te je jako zapaljiv [5].

3.4.3. Naftni derivati

Naftni derivati su ugljikovodična otapala. Nekad su imali znatnu važnost kao sredstva za čišćenje površina, no zamijenila su ih klorirana otapala. Glavni je razlog tome velika zapaljivost naftnih derivata.

PRIMJENA:

Možemo ih primijeniti za uklanjanje ulja, masti, katrana i voska. Glavnu primjenu danas imaju u polu-vodenim otopinama za čišćenje gdje ih koristimo kao otapalo [5].

3.4.4. Alifatski ugljikovodici

PRIMJENA:

Korisni su za odmašćivanje i kritično čišćenje. Razgradivi su istim mikroorganizmima koji razgrađuju i naftne derivate.

PREDNOSTI:

Alifatski ugljikovodici spojevi su slični naftnim derivatima, no karakterizira ih veća organiziranost i čistoća. Njihov dugi lanac ugljikovodika omogućuje miješanje u vodi.

NEDOSTACI:

Spadaju u VOCs, potrebno je dobro prozračiti prostor u kojem se primjenjuju, cijena može biti visoka [5].

3.4.5. N-metil-2-pirolidon (NMP)

NMP je blago lužnata bezbojna tekućina blagog mirisa. Organsko je otapalo koje se intenzivno koristi od prestanka korištenja kloriranih otapala.

PRIMJENA:

Koristi se za uranjanje dijelova, te brisanje površina. Uspješno uklanja teška ulja i naslage ugljika. Također je prikladan za skidanje boje, epoksidne smole i uretana.

PREDNOSTI:

NMP se miješa s vodom, alkoholom, eterima, ketonima i kloriranim ugljikovodicima. Zbog sporog isparivanja nije opasan kao zagađivač zraka.

NEDOSTACI:

Spada u VOCs te razgrađuje plastomere. Bitno je naglasiti da je cijena visoka, također apsorbira vlagu iz zraka zbog čega zahtjeva posebno skladištenje, a i teško se ispire [5].

3.4.6. Dibazični esteri (DBE)

Dibazični esteri obično su mješavina 17% di-metila dipata, 66% di-metil glutrata i 17% sukcinata. Topljivi su u vodi, alkoholu, ketonima, eterima i većini ugljikovodika.

PRIMJENA:

Primjenjuju se za uklanjanje boje te se često miješaju s NMP.

PREDNOSTI:

Slabije su hlapljivi od metil-klorida što znači da je utrošak materijala manji te da su manje emisije štetnih para.

NEDOSTACI:

Iako su emisije štetnih para manje, DBE se i dalje ubraja u VOCs. Potrebno je dva do tri puta više vremena za uklanjanje boje nego li je potrebno s metil-kloridom. Cijene su visoke [5].

3.4.7. Glikol eteri

Najčešće korišteni glikol eteri u svrhu čišćenja su etilen glikol butil eter (EB) i di-etilen glikol butil eter (DB). Toksičnost etilen glikol etera smatrana je niskom, no ponovna testiranja dokazuju suprotno. Ispitivanja se provode na manje toksičnim propilen glikol eterima koji bi mogli adekvatno zamijeniti etilen glikol etere.

PRIMJENA:

Koriste se u uobičajenim formulama za čišćenje. Efektivno uklanjaju ulja, masti i tintu sa stakla. Također se koriste za uklanjanje premaza s poluvodiča te sudjeluju kao zamjena za metil-klorid u sredstvima za uklanjanje boje.

PREDNOSTI:

Kemikalije na bazi propilena uspješno čiste odvode, k tome su manje otrovne i lakše za rukovanje od drugih otapala. Dobro emulgiraju u formulama za čišćenje, te ih je lako odvojiti od otapala kako bi se ponovo uporabile.

NEDOSTACI:

Opasni su za zdravlje, mogu dovesti do oštećenja crvenih krvnih stanica ili pobačaja. Postoji mogućnost pjenjenja te mogu imati neugodan miris. Neki se glikol eteri klasificiraju kao HAPs (Hazardous Air Pollutants). Svi su glikol eteri VOCs i zapaljivi [5].

3.4.8. Etil Laktat

Etil laktat (također zvan laktat esteri) je bezbojna tekućina s visokim pritiskom isparivanja. Proizvodi se fermentacijom šećera.

PRIMJENA:

Uklanja silikonska ulja ili masti, rashladne tekućine, ulja na bazi litija ili sumpora, tinte i otisaka prstiju.

PREDNOSTI:

Ispiranje nije nužno, no ako je potrebno, možemo koristiti vodu ili alkohol.

NEDOSTACI:

Spadaju u VOC te su zapaljivi. Prag toksičnosti nije utvrđen. Cijena je visoka [5].

3.4.9. Hlapivi metil siloksan (VMS)

Otapalo visoke čistoće (99,9% minimalno). Kao otapalo VMS najbolje djeluje na nepolarne tvari.

PRIMJENA:

Uklanjanje metalnih i silikonskih ulja. Parno odmašćivanje metalnih površina. Čišćenje odljeva i odvoda.

PREDNOSTI:

Niska površinska napetost, te viskoznost koja omogućava momentalno kvašenje obrađivanih dijelova. Brzo isparivanje omogućuje brzo sušenje površine. Niske je toksičnosti, ne razgrađuje ozon te je oslobođen VOC regulative.

NEDOSTACI:

Skup je i zapaljiv [5].

3.4.10. Floro-ugljikovodik (HFC)

Alternativna je zamjena kao otapalo za CFC-113 otapala za parno odmašćivanje.
PRIMJENA:

Koristi se kao otapalo pri parnom odmašćivanju kada površina dijela ne može biti očišćena drugom metodom. Također se koristi za operacije preciznog čišćenja.

PREDNOSTI:

Kratko se zadržava u atmosferi te ne šteti ozonu. Niske je toksičnosti te nije VOC. Dugotrajno rješenje kao opcija otapala za parno odmašćivanje [5].

3.4.11. Floro-vodični eteri (HFE)

PRIMJENA:

Koriste se kao zamjena za CFC pri čišćenju električnih sklopova te preciznom čišćenju. Dobri su za uklanjanje ulja, čišćenje odvoda i uklanjanje vode.

PREDNOSTI:

Ne štete ozonu, nisu VOC, nisu zapaljivi, brzo isparavaju, niske su toksičnosti te imaju nisku površinsku napetost.

NEDOSTACI:

Skupi su, samostalno će očistiti samo lagane nečistoće, za čišćenje tvrdokornih nečistoća potrebno je miješanje s drugim otapalima [5].

3.5. Automatska stanica za čišćenje površine

Tvrtka PLATIT nudi rješenja za automatsko čišćenje, rukovanje i skidanje prevlaka. Također nude i uređaje za prevlačenje s ugrađenom opremom za pripremu površine. Automatske jedinice su opremljene četkama, opremom za poliranje i mikro pjeskarenje, a sadrže i komore za vakuumsko čišćenje i sistem za kontroliranje kvalitete prema ISO9001 [7].

3.5.1. ST-40 sustav uklanjanja prevlaka

Ove jedinice dolaze u nekoliko modula, te im je primarna svrha da uklanjaju PLATITI prevlake. Moduli su:

1. ST-40 HM: Uklanjanje prevlaka na bazi titana (Ti) ili aluminija (Al) s karbida.
2. ST-40 Cr: Uklanjanje prevlaka na bazi kroma (Cr) s karbida i brzoreznog čelika.
3. ST-40 HSS: Uklanjanje prevlaka na bazi titana (Ti), aluminija (Al) ili kroma (Cr) s brzoreznog čelika.
4. CT-40: Brzo uklanjanje prevlaka s karbida i brzoreznih čelika.
5. ST-170 Cr: Uklanjanje prevlaka na bazi kroma (Cr) s karbida i brzoreznog čelika.
6. ST-170 HSS: Uklanjanje prevlaka na bazi titana (Ti), aluminija (Al) ili kroma (Cr) s brzoreznog čelika.
7. ST-40 R: Modul za ispiranje.
8. ST-40 P: Modul za zaštitu od korozije.

Stanice za uklanjanje prevlaka većinom koriste elektro-kemijske metode. Ove je metode u većini slučajeva moguće provesti bez oštećivanja osnovnog materijala, no mogu oštetiti karbide te isprati kobalt.

3.5.2. Jedinice za čišćenje

PLATIT proizvodi industrijske jedno-komorne jedinice za potpuno automatsko čišćenje i vakuumsko sušenje površine. Na ovaj način možemo prirediti strojne dijelove, alate za rezanje, kalupe i odljevke. Također se koriste za dijelove koje je teško očistiti zbog nepristupačnih šupljina. Ove stanice nose oznake V80+, V311 i V1011. Mogu sadržavati: opremu za ultrazvučno čišćenje, spremnik s alkalnim deterdžentom, spremnik za destiliranu vodu, sustav za vakuumsko sušenje, deterdžente, soli, jednostavno sučelje s ekranom osjetljivim na dodir i CleX® sistem modularnih držača [7].

Slika 5. Jedinice za čišćenje i ciklus pranja [7]

3.5.3. Ručne modularne stanice za čišćenje

Ručne modularne stanice za čišćenje osmišljene su kako bi se koristile u laboratorijima i institutima. Operacija čišćenja provodi se u pet koraka, a dijelovi se nose u košarama od modula do modula. Samo čista metalna površina može garantirati dobru adhezivnost prevlake. Energija površinske napetosti jedan je od ključnih faktora te bi minimalno trebala iznositi 42 mN/m [7].

Koraci čišćenja površine obradaka:
1. Ispiranje prašine koristeći vodu iz slavine.
2. Predčišćenje supstrata ultrazvukom u destiliranoj vodi ili deterdžentu.
3.Ispiranje u destiliranoj vodi.
4. Precizno čišćenje elektrolita.
5. Ispiranje koristeći destiliranu vodu.

PLATIT moduli za čišćenje:
1. CL-40 EL: Modul za čišćenje elektrolitom.
2. CL-40 US: Modul za ultrazvučni tretman.
3. CL-40 R: Modul za ispiranje.
4. CL-40 D: Modul za sušenje.

EKSPERIMENTALNI DIO

4. ISPITNI UZORCI I PLAN POKUSA

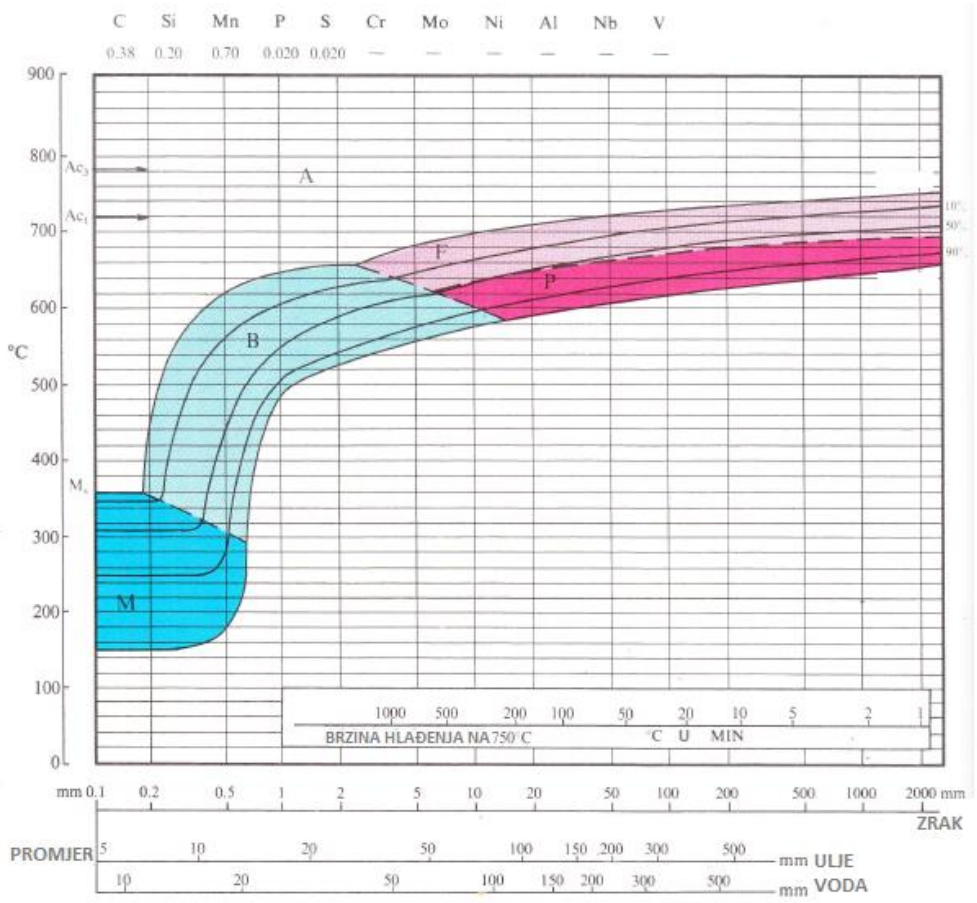
4.1. Kemijski sastav ispitnih uzoraka i osnovna toplinska obrada

Ispitni uzorci izrađeni su od čelika C35 kemijskog sastava prikazanog u tablici 1. Čelik C35 spada u grupu srednje ugljičnih čelika. C35 je oznaka koja proizlazi iz ISO međunarodnog standarda normi, dok oznaka 1035 proizlazi iz ANSI američkog standarda normi [8]. Jedan je od najšire primjenjivih čelika za izradu strojnih dijelova. C35 je medij ugljičnog čelika i jedan od najčešće korištenih dijelova strojeva. Odlikuje se izvrsnom kovkošću. Dostupne su posebne varijante za hladno vučenje. Zbog sadržaja ugljika, pri zavarivanju su neophodna predgrijavanja i zagrijavanja. Širok raspon mehaničkih svojstava može se postići ako čelik C35 u popuštenom stanju površinski obogatimo ugljikom i dušikom postupkom nitrokarburiranja.

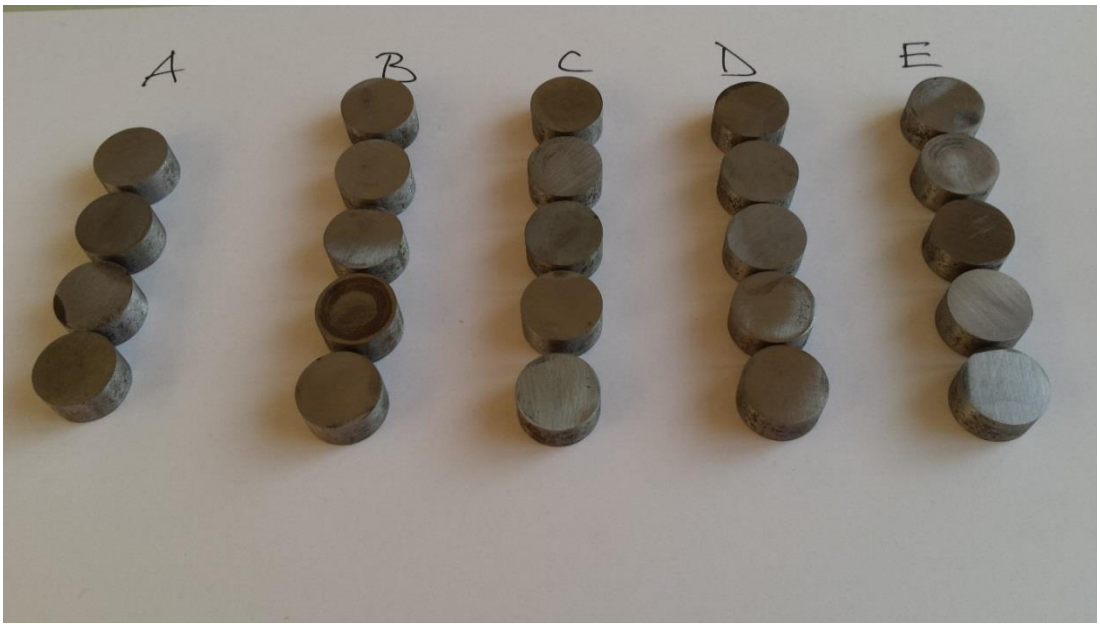
Tablica 1. Kemijski sastav čelika C35 prema normi DIN EN 10277-2:2008-06

	N°	C %	Mn %	Si % Max	P % Max	S % Max	N % Max	Cr % Max	Mo % Max	Ni % Max	Cr+Mo+Ni % Max
C35	1.0501	0,32 ÷ 0,39	0,50 ÷ 0,80	0,40	0,045	0,045	-	0,40	0,10	0,40	0,63

U eksperimentalnom dijelu rada napravit će se plan ispitivanja i provesti ispitivanja o utjecajnosti pripreme površine nitrokarburiranog čelika postupkom TENIFER na kvalitetu površine, tvrdoću, kemijski sastav difuzijske zone i otpornost na koroziju. Provest će se ispitivanja tvrdoće, analiza mikrostrukture, ispitivanja otpornosti na koroziju, te površinska hrapavost uzoraka sa i bez toplinske obrade nitrokarburiranjem uz različite stupnjeve pripreme površine [9].

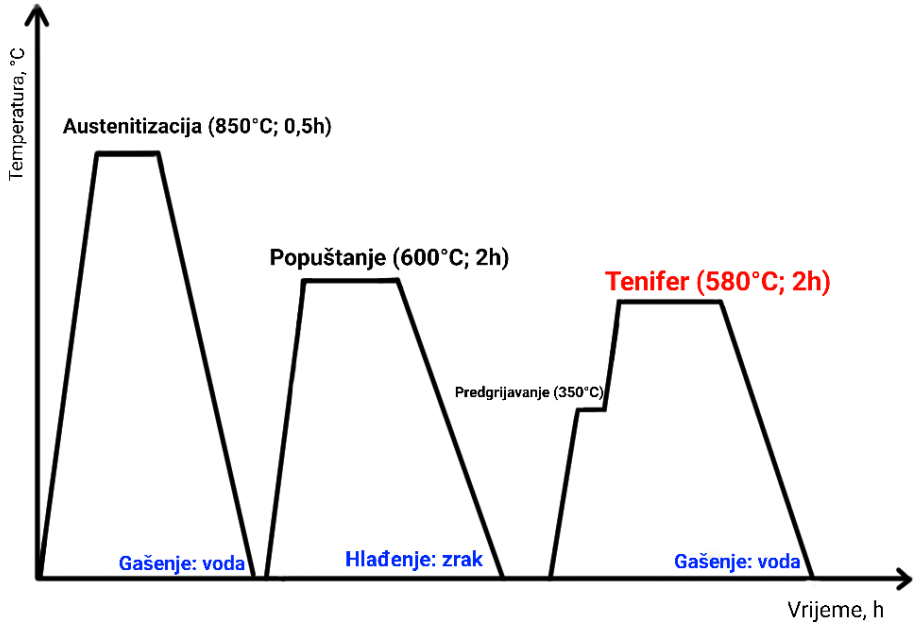


Slika 6. Kontinuirani TTT dijagram čelika C35 [10]



Slika 7. Polazno stanje površine ispitnih uzoraka

Ispitni uzorci su tokareni, promjer im je 15mm, visina 10 mm. Nakon tokarenja, na njima je provedeno kaljenje na temperaturi austenitizacije od 850°C u trajanju od 30 minuta. Gašenje je provedeno u vodi. Ispitni uzorci u kaljenom stanju popuštani su na temperaturi od 600°C u trajanju od 2 sata uz hlađenje na zraku.



Slika 8. Dijagram postupka poboljšavanja ispitnih uzoraka

4.2. Plan pokusa

Nakon osnovne toplinske obrade površina ispitnih uzoraka bila je oksidirana te je bilo nužno ukloniti oksidni sloj prije nastavka ispitivanja. Kako bi se uklonio oksidni sloj ispitni su uzorci uronjeni u 50%-tnu vodenu otopinu sredstva za čišćenje BioCro Coroclean u trajanju od 72h. U ovom procesu otopljena je većina oksidnog sloja nastalog u prethodnoj toplinskoj obradi, međutim djelovanjem vode površina je ispitnih uzoraka slabo korodirala općom korozijom nakon koje je zamijećen tanki žuto smeđi površinski film. On je uklonjen abrazivnim mehanizmom, odnosno postupkom ručnog brušenja bez ispiranja. Nakon što su sve površine dvadeset i četiri ispitna uzorka ručno brušene, ravne površine koje ne sadrže oznake (tzv. referentne površine) dalje su obrađivane prema planu pokusa različitim metodama pripreme površine.

Ispitni su uzorci podijeljeni u 5 skupina, a svaka od skupina označena je slovom od A do E. Svaka skupina ima 5 ispitnih uzoraka, osim grupe A koja se sastoji od 4 ispitna uzorka. Korišten je abrazivni mehanizam trošenja kako bi se uklonili tragovi tokarskog noža, ujednačile ispitne površine ispitnih uzoraka, uklonile nečistoće s površine i novonastali oksid koji se pojavljuje radi djelovanja BioCro Coroclean-a. Svi su ispitni uzorci obrađeni ručnim brušenjem bez ispiranja s brusnim papirom gradacije #100, te gradacije #200.

Slika 9. Strojno brušeni ispitni uzorci i ispitni uzorci nakon kemijskog čišćenja

Svaka od grupa prolazi kroz drugačiji proces pripreme površine:

1. Grupa A: Pjeskarenje
2. Grupa B: Strojno brušenje
3. Grupa C: Grubo brušenje (završno s vodenim brusnim papirom gradacije #600 uz ispiranje vodom)

4. Grupa D: Fino brušenje (završno s vodenim brusnim papirom gradacije #1200 uz ispiranje vodom)
5. Grupa E: Fino brušenje/poliranje (završno s vodenim brusnim papirom gradacije #2400 uz ispiranje vodom)

Nakon što su sve površine obrađene, mjeri se tvrdoća na Rockwell-ovom tvrdomjeru, određuje se masa uzoraka te se snimaju profili hrapavosti površine.

Postupak nitrokarburiranja provodi se u solnoj kupci na temperaturi od 580°C u trajanju od 2 sata. Ispitni uzorci hlade se u vodi.

Po završetku postupka nitrokarburiranja ponovno su snimljeni profili hrapavosti površina, provedeno je mjerenje mase svakog od ispitnih uzoraka, dio ispitnih uzoraka izložen je djelovanju korozivnog medija u slanoj kupci, izmjerena je mikrotvrdoća Vikersovom metodom HV0,5 te je provedena analiza mikrostrukture na svjetlosnom metalurškom mikroskopu.

Tablica 2. Oznake i priprema površine ispitnih uzoraka

Grupa	*Ispitni uzorci*	*Završna površinska obrada*
A	1;2;3;4;5;	Pjeskarenje
B	1-5	Strojno brušenje
C	1-5	Grubo brušenje
D	1-5	Fino brušenje
E	1-5	Fino brušenje/poliranje

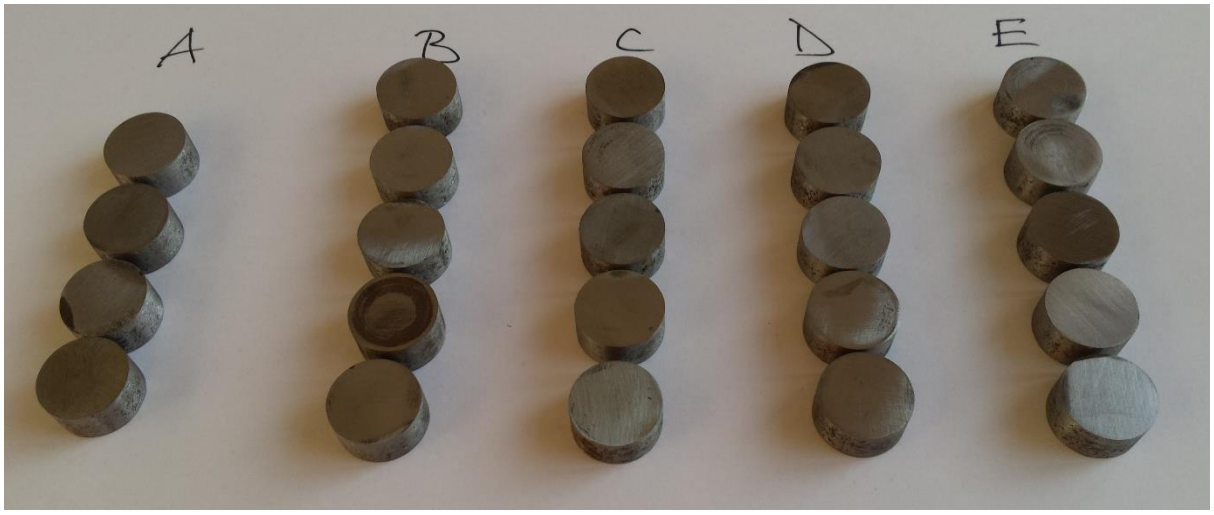
4.3. Priprema površine prije nitrokarburiranja

Ispitni su uzorci nakon popuštanja strujno brušeni, no oksidni sloj s oboda nije se mogao skinuti brušenjem. Ispitni uzorci podvrgnuti su kemijskom čišćenju vodenom otopinom kiseline u BioCro Coroclean. Ispitni uzorci u polaznom stanju nakon strojnog brušenja prikazani su u gornjem redu, a ispitni uzorci s tankim oksidnim filmom nakon kemijskog čišćenja u donjem redu na ***slici 9.***.

Nakon kemijskog čišćenja, ispitni uzorci ručno su brušeni vodenim brusnim papirom bez ispiranja na staklenoj podlozi kako bi zadržali ravnost referentnih površina. Sve površine svih uzoraka brušene su vodenim brusnim papirom gradacije #100, a potom gradacije #200. ***Slika 10.*** prikazuje ručno brušene uzorke u gornjem, te uzorke nakon kemijskog čišćenja u donjem redu.

Slika 10. Ručno brušeni ispitni uzorci i ispitni uzorci nakon kemijskog čišćenja

Nakon ručnog brušenja vidljivo je da ispitni uzorci u grupama A i B imaju najdublje tragove tokarskog noža. Odlučeno je da će grupa A biti pjeskarena kako bi se uklonilo odstupanje od ravnosti koje je nastalo tijekom strojnog brušenja jednog od ispitnih uzoraka, te da će grupa B biti ponovno strojno brušena kako bi se u potpunosti uklonili duboki tragovi tokarskog noža na jednom od ispitnih uzoraka.



Slika 11. Ispitni uzorci nakon ručnog brušenja gradacijom #200

Grupe C, D i E brušene su na rotacionom stolu uz ispiranje vodom. U prvom koraku sve 3 grupe brušene su gradacijom #600. U drugom koraku referentne površine ispitnih uzoraka iz grupa D i E dovedene su brušenjem gradacijom #1200 do površinskog stanja koje podsjeća na mutno zrcalo. Grupa E u trećem koraku dobiva potpuni zrcalni odsjaj nakon brušenja gradacijom #2400.

Slika 12. Prikaz postupka brušenja vodenim brusnim papirom uz ispiranje vodom

Slika 13. prikazuje ispitne uzorke iz grupe D i grupe E (lijevo) te grubo brušene ispitne uzorke (desno) u posljednjem koraku površinske obrade.

Slika 13. Fino brušeni ispitni uzorci i grubo brušeni ispitni uzorci

4.4. Nitrokarburiranje u solnoj kupci TENIFER

Ispitni uzorci vezani su žicom te stavljeni u solnu kupku TENIFER na 580 °C u trajanju od 2h. Solna kupka TENIFER propuhivana je zrakom. Mjehurići zraka i lokalne razlike u temperaturi jedini su uzročnici dinamike u kupci. Oko svih uronjenih metalnih dijelova u kupci dolazi do lamilarnog hidrodinamičkog sloja cijanida. Ova pojava diktira količinu slobodnih atoma dušika uz samu površinu, koja je nešto manja u blizini metalnih površina. Korištenjem ovih parametara može se pretpostaviti debljina difuzijske zone od oko 50µm, no stvarni rezultati dobit će se analizom mikrostrukture i mjerenjem mikrotvrdoće. Po završetku postupka nitrokarburiranja ispitni uzorci vade se iz kupke. Provodi se hlađenje u vodi.

Slika 14. Solna kupka TENIFER

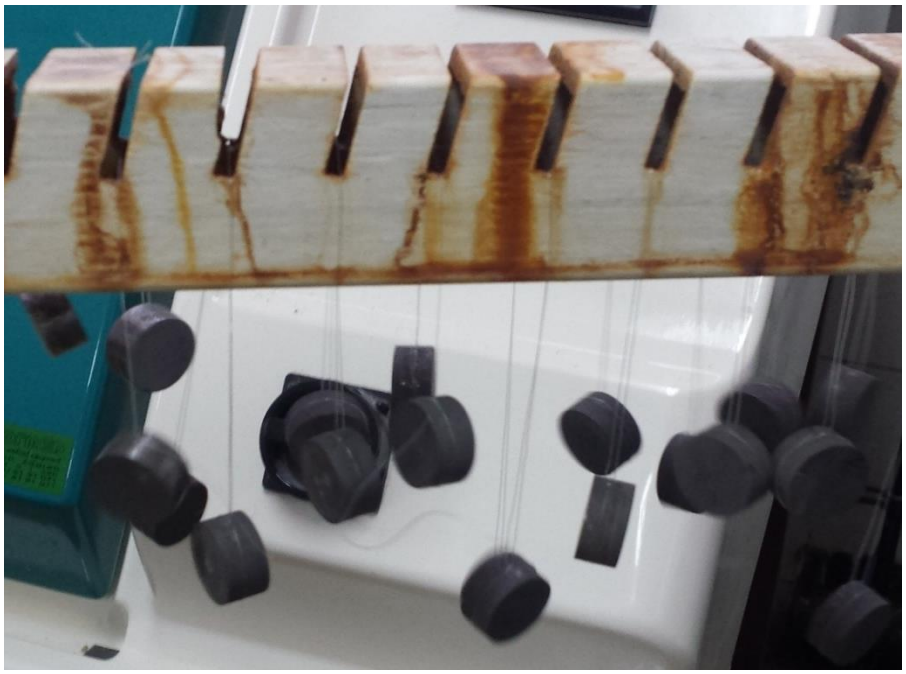
Slika 15. Nitrokarburirani ispitni uzorci vezani u grozdove

Ispitni uzorci na neki se način moraju osigurati pri stavljanju u solnu kupku. Zbog provođenja ispitivanja korozijske postojanosti bušenje provrta u ispitnim uzorcima nije bila opcija. Provrt bi predstavljao mjesto na kojem bi moglo doći do intenzivnije korozije zbog lamilarnog hidrodinamičkog sloja cijanida oko uzoraka karakterističnog za TENIFER. Iako niti jedna od mogućnosti nije idealna, odlučeno je da se ispitni uzorci vežu u grozdove kao što je prikazano na ***slici 15.***. Nakon što su ispitni uzorci ohlađeni u vodi, potrebno ih je pažljivo izrezati iz žice. Na nekima od uzoraka mjestimice su ostali vidljivi tragovi vezanja.

4.5. Korozijsko ispitivanje uzoraka u slanoj komori

Testiranje na korozijsku postojanost provodi se u solnoj komori. Prije ispitivanja u solnoj komori ispitni uzorci su vagani kako bi se mogao utvrditi gubitak mase nakon ispitivanja. Ispitni uzorci vezani su fluorokarbonom kako ne bi došlo do razlike elektropotencijala materijala uzorka i materijala s kojim vežemo uzorke. Na taj način uklanjamo mogućnost korozije u procjepu te mogućnost galvanske korozije. Iz svake grupe uzeta su po četiri uzorka za testiranje u solnoj komori – dva uzorka provela su 72h, a druga dva uzorka 96h u solnoj komori. Ispitni uzorci u sljedećem su koraku očišćeni od tankog površinskog oksida s mesing četkicom kako ne bi skinuli difuzijsku zonu spojeva. Po završetku ispitivanja uzorke ponovno važemo i utvrđujemo gubitak mase.

4.5.1. Slike ispitivanja korozijske postojanosti nitrokarburiranih uzoraka



Slika 16. Ispitni uzorci prije ispitivanja na koroziju

Pri stavljanju uzoraka u solnu komoru bitno je osigurati pravilan raspored kako ne bi došlo do međusobnog kontakta.

Slika 17. Ispitivanje korozijske postojanosti u slanoj komori

Na ***slici 17.*** prikazani su ispitni uzorci nakon 72h u solnoj komori. Nastanak korozijskih produkata najbrži je na cilindričnoj površini. Ovakav slijed ispitivanja bio je za očekivati s obzirom na to da je cilindrična površina završno obrađena ručnim brušenjem.

Slika 18. Ispitni uzorci nakon ispitivanja korozijske postojanosti

Do stvaranja korozijskih produkata dolazi ispod difuzijske zone, na rubu željezne matrice, poslije čega korozijski produkti izlaze na površinu. Na ***slici 18.*** vidi se da je grupa A najjače korodirala, dok grupa E pokazuje najveću otpornost prema koroziji.

Slika 19. Ispitni uzorci nakon čišćenja od oksida

Za čišćenje uzoraka korištena je četkica od mjedi kako se ne bi skinula difuzijska zona spojeva. Na ***slici 19.*** vidi se da su referentne površine svih grupa osim grupe E značajno više oštećene oksidom nakon 96h.

4.5.2. Određivanje mase ispitnih uzoraka prije i nakon korozije

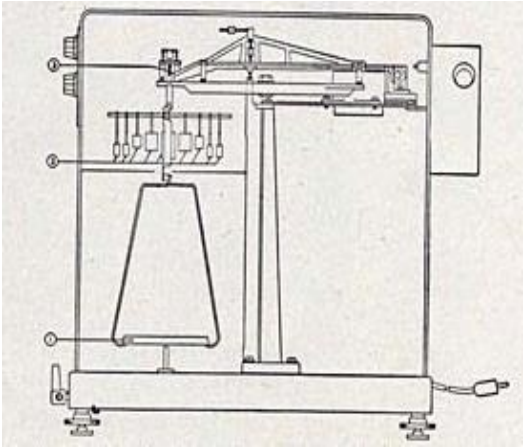
Za vaganje ispitnih uzoraka korištena je digitalna vaga kako bi se odredila masa uzoraka zaokružena na desetinu grama [g*10^{-1}]. Za određivanje četvrte decimale grama [g*10^{-4}] korištena je analogna vaga sa sistemom poluga i utega.

Slika 20. Prikaz očitavanja rezultata s analogne mehaničke vage

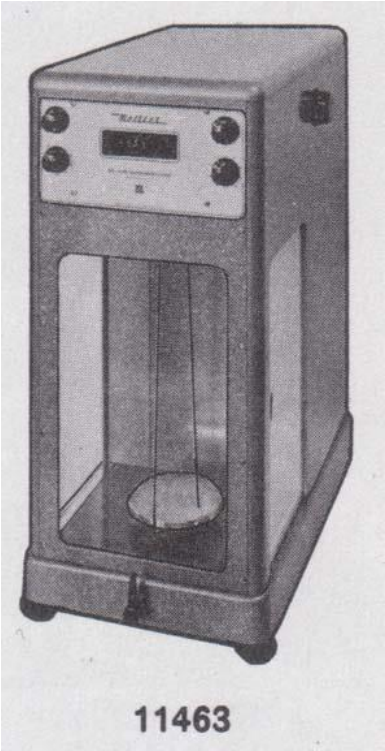
Na analognu vagu unosi se rezultat mjerenja s digitalne vage; drugu i treću decimalu prikazuje lijeva skala, a četvrtu decimalu čitamo s desne skale. Na ***slici 20.*** rezultat mjerenja na vagi iznosi 14.3305[g].

Slika 21. Princip očitavanja rezultata mjerenja [11]

Vaga koristi sistem poluga i utega kako bi došlo do uspostavljanja mehaničke ravnoteže nakon opterećivanja posude predmetom koji važemo.



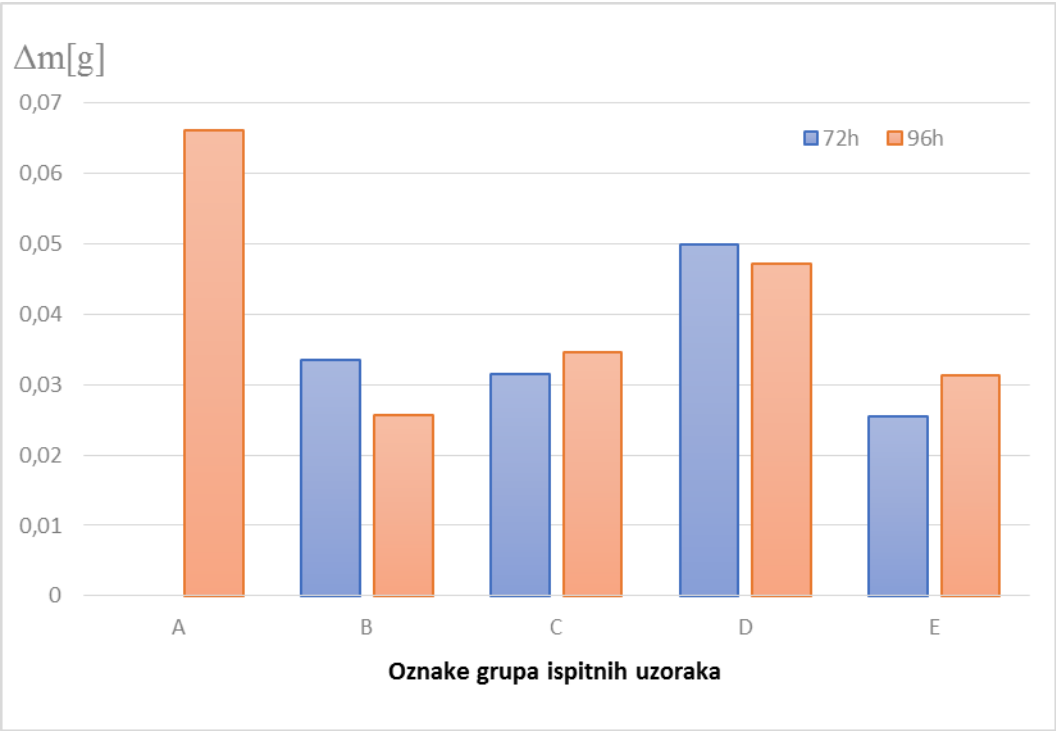
Slika 22. Presjek vage [11]



Slika 23. Prikaz vage [11]

4.5.3. Rezultati ispitivanja korozijske postojanosti nitrokarburiranih uzoraka

Ispitni uzorci podijeljeni su u dvije skupine; prva je skupina u solnoj komori provela 72h. Ispitivanje završava nakon 96h kada druga skupina uzoraka napušta komoru. Ispitni uzorci vagani su prije ispitivanja te nakon uklanjanja produkata korozije s površine. U daljnjem ispitivanju odbacuje se rezultat mjerenja za uzorak E2 zbog velikog odstupanja od ostalih rezultata u grupi E. Iz ostalih rezultata mjerenja dobivena je ovisnost srednje vrijednosti gubitka mase o završnoj površinskoj obradi prije nitrokarburiranja i trajanju ispitivanja korozijske postojanosti. Pri tumačenju rezultata ispitivanja korozije u obzir treba uzeti položaj ispitnih uzoraka u solnoj komori, kvalitetu nitrokarburiranog površinskog sloja na koju je najviše utjecao način vezanja ispitnih uzoraka pri uranjanju u solnu kupku TENIFER, mali broj ispitnih uzoraka, te činjenica da su cilindrične i ravne površine s oznakama na svim ispitnim uzorcima završno obrađene ručnim brušenjem brusnim papirom gradacije #200. Zbog navedenih razloga na dijagramu prikazanom na ***slici 24.*** vidi se da je gubitak mase ispitnih uzoraka grupa B i D manji nakon 96h u odnosu na uzorke istih grupa koji su u solnoj kupci proveli 72h. Ovakav zaključak nije realan. Uz već navedene razloge, ovakav je rezultat direktna posljedica dubokih poroziteta na cilindričnim plohama uzoraka B1 i D4.



Slika 24. Gubitak mase ispitnih uzoraka nakon izlaganja 3,5%-tnoj vodenoj otopini NaCl u slanoj komori tijekom 72 i 96 sati

4.6. Ispitivanje hrapavosti

4.6.1. Hrapavost i njeni parametri

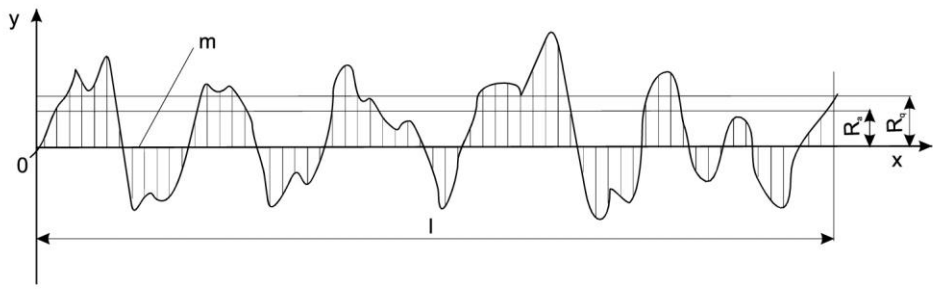
Hrapavost uključuje kratkovalne nepravilnosti površine. Općenito je posljedica proizvodnog procesa. Prouzrokovana je metodom obrade, odnosno rezultat je postupka obrade, a ne stroja. Kod uređaja s ticalom igla ticala pomiče se konstantnom brzinom po površini i vertikalni pomak igle pretvara u električni signal pomoću pretvornika. Električni signal pojačan je i obrađen pomoću računala. Skeniranjem od točke do točke dobiva se kvantitativna informacija s obzirom na poziciju igle ticala [12].

Hrapavost površine usporedit ćemo kroz tri parametra:

- $\boldsymbol{R_a}$- srednje aritmetičko odstupanje profila
- $\boldsymbol{R_z}$- Prosječna visina neravnina
- $\boldsymbol{R_{max}}$- najveća visina profila

Srednje aritmetičko odstupanje profila ($\boldsymbol{R_a}$) dobivamo zbrajanjem apsolutnih vrijednosti profila y u granicama referentne duljine *l:*

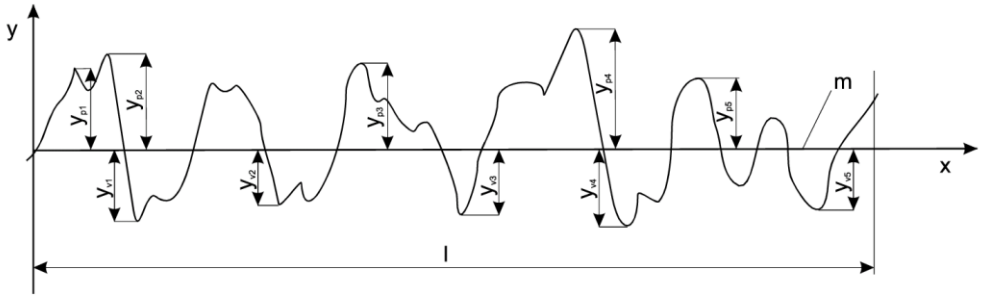
$$R_a = \frac{1}{l}\int_0^l y(x)dx \quad . \tag{1}$$



Slika 25. Parametar R_a

Prosječna visina neravnina ($\boldsymbol{R_z}$) računa se kao srednja vrijednost zbroja apsolutnih vrijednosti 5 najviših izbočina i 5 najdubljih udubina u granicama referentne duljine *l:*

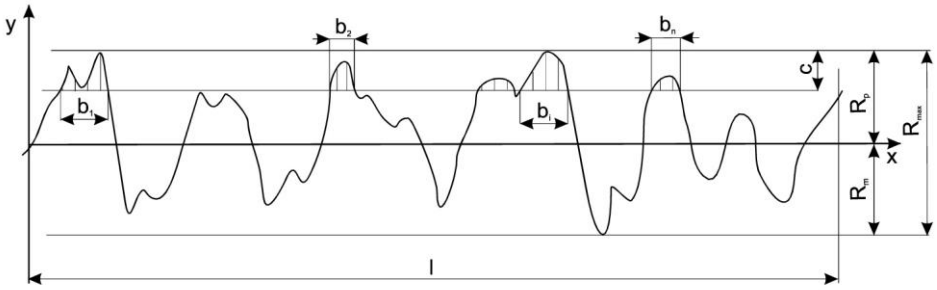
$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^{5}\left|y_{pi}\right| + \sum_{i=1}^{5}\left|y_{vi}\right|}{5} \quad . \tag{2}$$



Slika 26. Parametar R_z

Najveća dužina neravnina (***R**max*) predstavlja razmak između dvaju pravaca, paralelnih sa srednjom linijom profila *m* koji dotiču, u granicama referentne duljine *l*, najviše odnosno najniže točke profila *p* [13].

$$R_{max} = R_p + R_m \,. \tag{3}$$

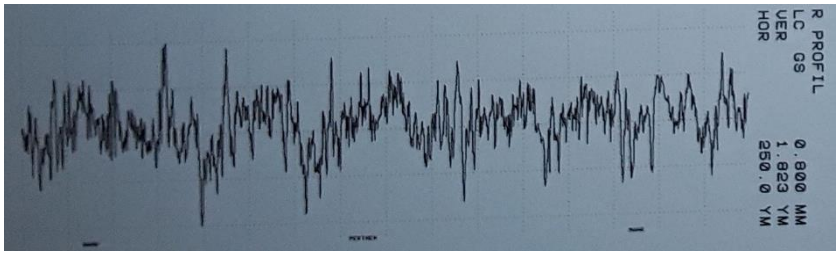
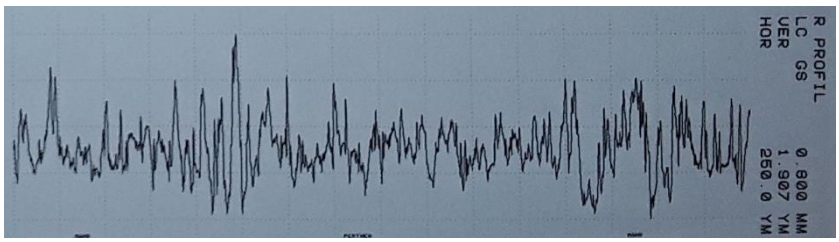
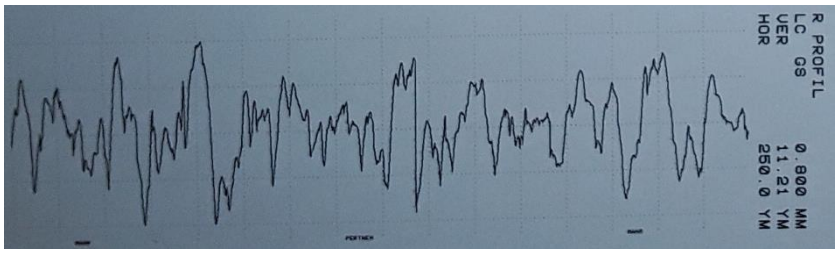
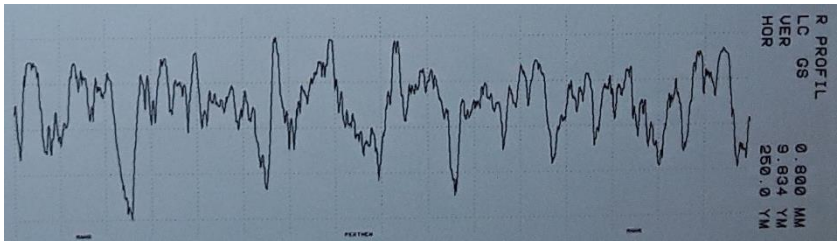
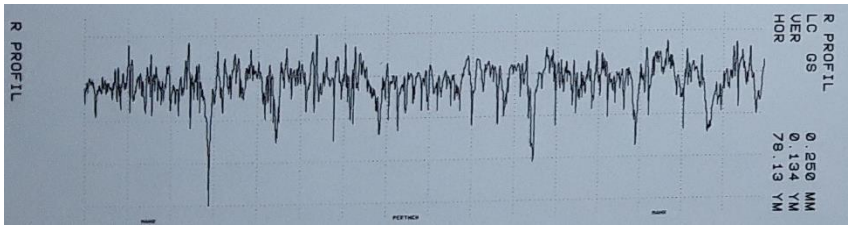
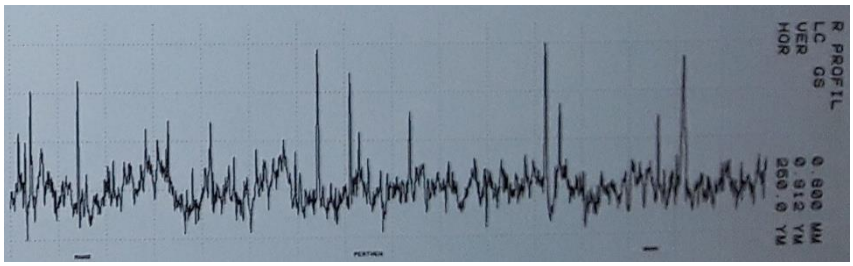


Slika 27. Parametar R_{max}

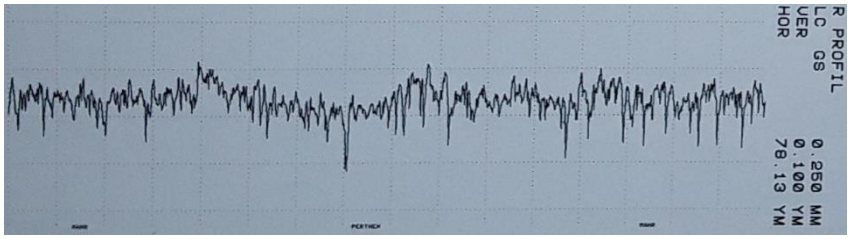
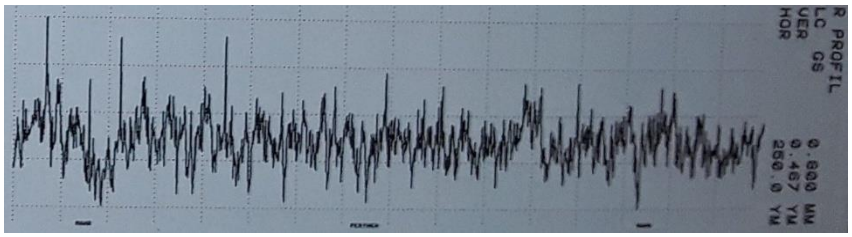
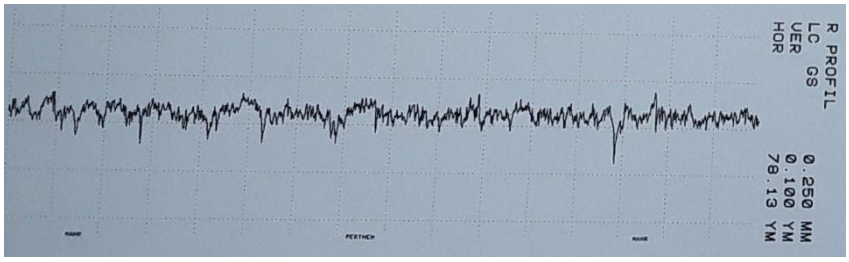
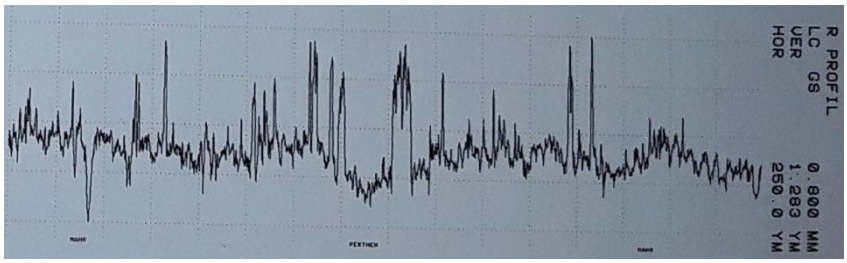
Mjerenjem profila hrapavosti na ispitnim uzorcima prije i nakon nitrokarburiranja dobiva se uvid u to kako proces djeluje na kvalitetu površine.

4.6.2. Prikaz profila hrapavosti ispitnih uzoraka

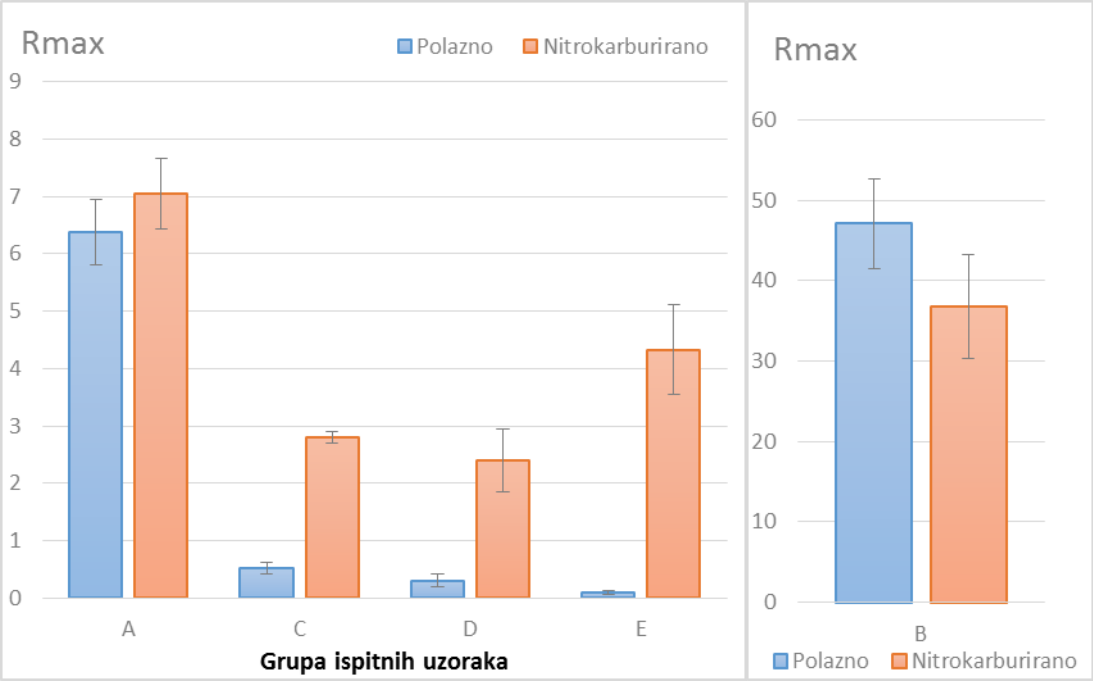
Tablica 3. Profili hrapavosti referentnih površina uzoraka

Pjeskareni uzorak iz grupe A u polaznom stanju	
Pjeskareni uzorak iz grupe A u nitrokarburiranom stanju	
Strojno brušeni uzorak grupe B u polaznom stanju	
Strojno brušeni uzorak grupe B u nitrokarburiranom stanju	
Grubo brušeni uzorak iz grupe C u polaznom stanju	
Grubo brušeni uzorak iz grupe C u nitrokarburiranom stanju	

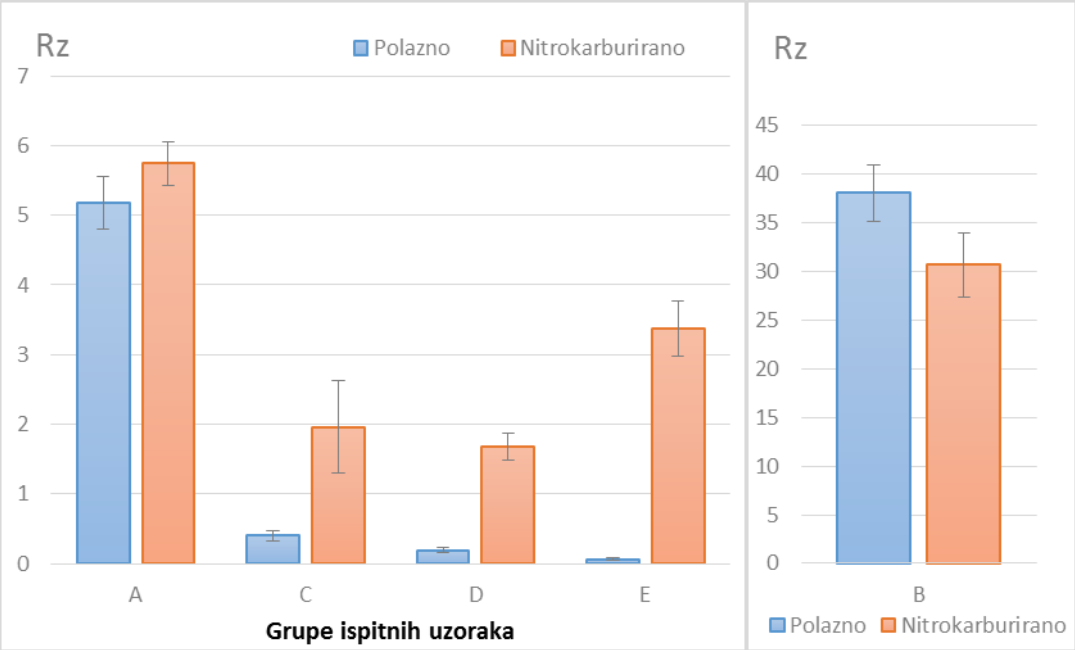
Tablica 3. (nastavak) Profili hrapavosti referentnih površina uzoraka

Fino brušeni uzorak iz grupe D u polaznom stanju	
Fino brušeni uzorak iz grupe D u nitrokarburiranom stanju	
Fino brušeni /polirani uzorak iz grupe E u polaznom stanju	
Fino brušeni /polirani uzorak iz grupe E u nitrokarburiranom stanju	

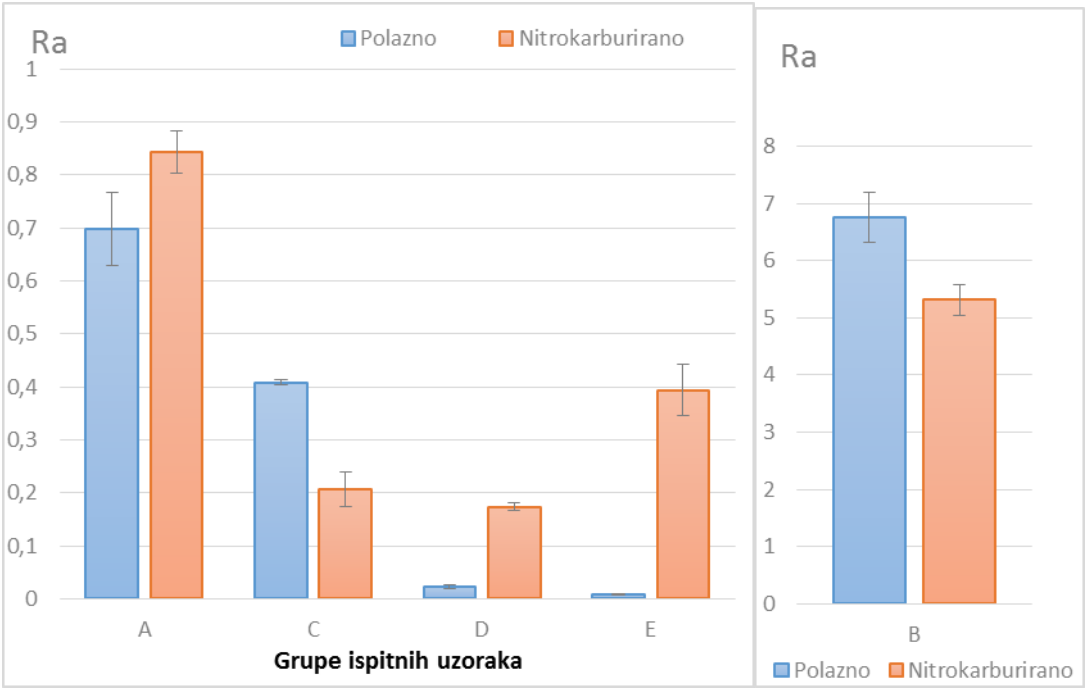
Iz rezultata ispitivanja površinske hrapavosti prije i nakon toplinske obrade u solnoj kupci TENIFER dobiva se uvid u utjecaj procesa na parametre hrapavosti te način stvaranja difuzijske zone. Naime, iako je ovdje riječ o difuzijskoj zoni, dušik i ugljik ne difundiraju u željeznu matricu. Zona spojeva gradi se direktno na samoj površini nitrokarburiranog dijela. Ako se promotri prikaz profila hrapavosti na ***slici 25.*** te grafičke prikaze parametara R_{max}, R_z i R_a na ***slici 26.***, vrlo je lako zaključiti da je u svim grupama osim u grupi B došlo do povećanja hrapavosti površine. Pjeskarena površina ispitnih uzoraka grupe B ima nekoliko stotina veće vrijednosti parametara hrapavosti u odnosu na fino brušenu/poliranu površinu grupe E, što je ujedno i razlog zašto su njeni parametri prikazani na zasebnim grafovima. Pošto je riječ o tako hrapavoj površini, kod nje dolazi do blagog ujednačavanja profila hrapavosti te pada parametara hrapavosti.



Slika 28. Promjena parametra hrapavosti R_{max} nakon nitrokarburiranja



Slika 29. Promjena parametra hrapavosti R_z nakon nitrokarburiranja



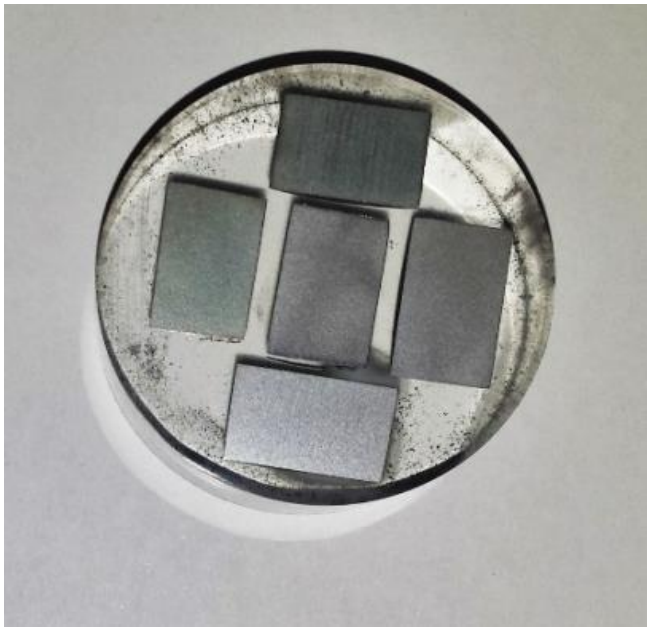
Slika 30. Promjena parametra hrapavosti R_a nakon nitrokarburiranja

Rezultati ispitivanja hrapavosti ukazuju na različit utjecaj postupka nitrokarburiranja: na promjenu hrapavosti površine. Parametar R_{max}, odnosno najveća visina profila, raste kod svih grupa ispitnih uzoraka, osim kod grupe B čija je površina pjeskarena. Parametar R_z, odnosno prosječna visina neravnina, također raste kod svih grupa osim kod grupe B. Parametar R_a, odnosno srednje aritmetičko odstupanje profila, raste kod grupa A, D i E, dok u grupama B i C pada. Bitno je primijetiti kako je rast sva tri parametra kod grupa D i E drastičan. Postupak nitrokarburiranja uvelike narušava kvalitetu fino obrađenih površina. Dijelovi čije površine zahtijevaju visoku kvalitetu moraju biti naknadno polirani, poželjno ih je obraditi s postupkom TENIFER QPQ.

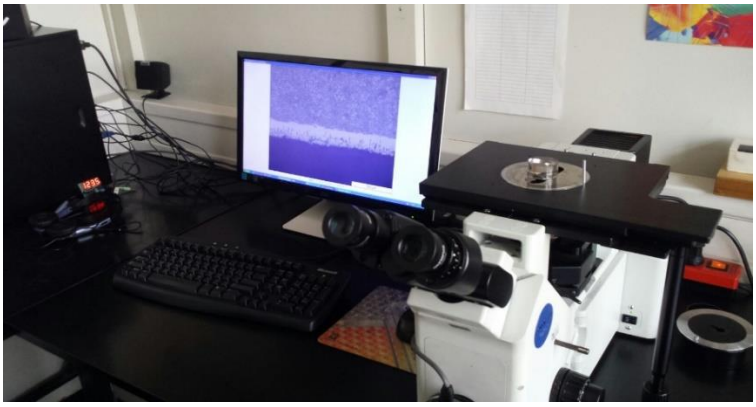
4.7. Analiza mikrostrukture nitriranog sloja

4.7.1. Opis ispitivanja i mjerne opreme

Kako bi se provela analiza mikrostrukture ispitne uzorke potrebno je prerezati. Presjeci su izrezani na rezalici uz hlađenje vodom. Nakon toga provedeno je brušenje vodenim brusnim papirima gradacija #600 i #1200, te poliranje dijamantom pastom. Ovako pripremljene površine zalijevane su masom za uzorke. Posljednji je korak prije analize mikrostrukture nagrizanje promatranih presjeka na svjetlosnom mikroskopu s kamerom 3%-tnim NITAL-om.



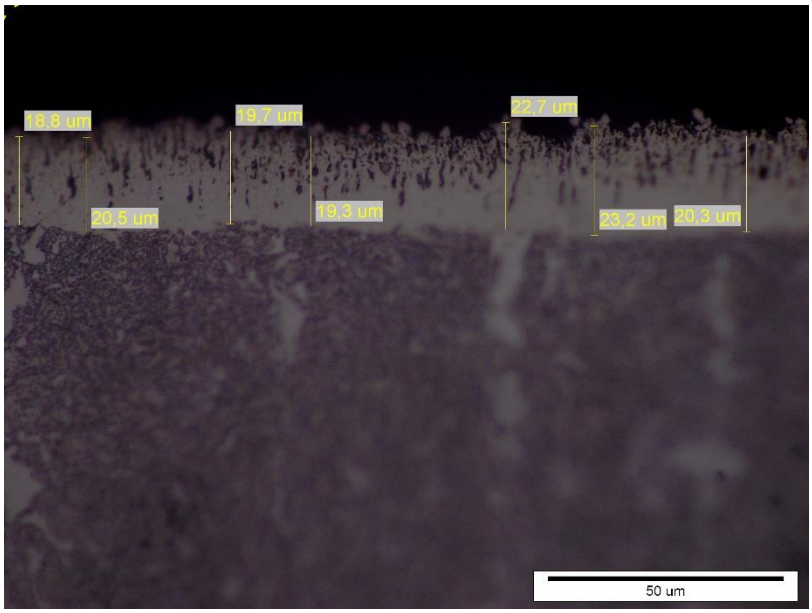
Slika 31. Prikaz ispitnih uzoraka za analizu mikrostrukture



Slika 32. Prikaz ispitivanja mikrosturkture

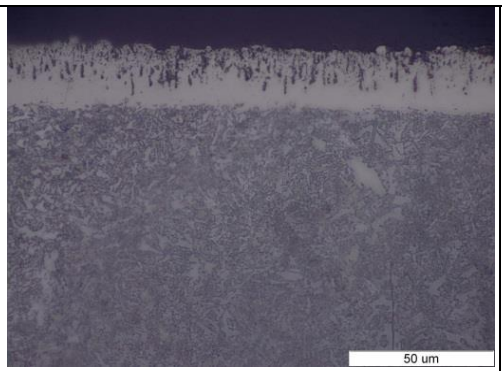
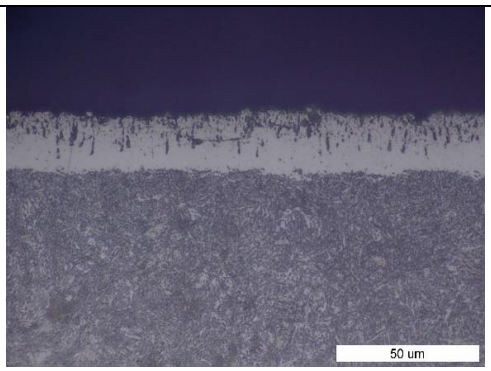
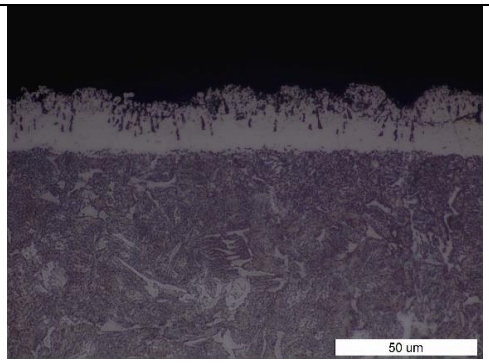
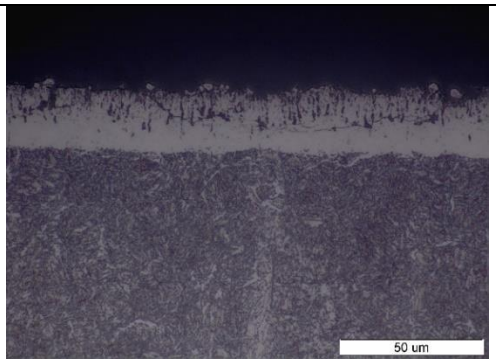
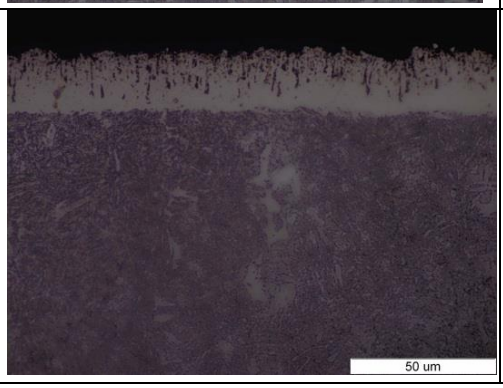
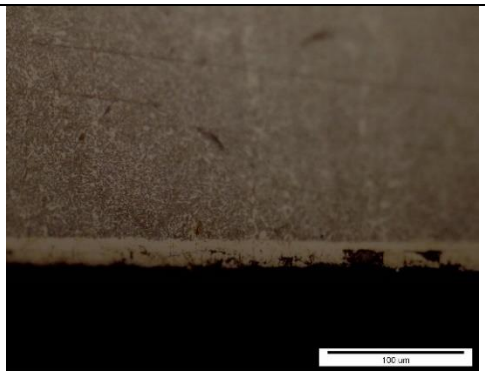
4.7.2. Rezultati ispitivanja mikrostrukture

Na fotografiji sa svjetlosnog metalurgijskog mikroskopa zona spojeva jasno je vidljiva kao bijeli sloj na površini. Nju čine porozni dio i kompaktni dio. Na svakom uzorku provedeno je desetak mjerenja debljine zone spojeva. Računanjem aritmetičke sredine dolazi se do njene debljine, dok standardna devijacija opisuje hrapavost zone spojeva. Naime, njezina je dinamika rasta takva da će prvo popuniti dolove na polaznoj površini, a zatim se počinje graditi od početne površine predmeta prema van. Novonastala površina imat će sličan profil hrapavosti kao i početna. Moglo bi se reći da se početni profil hrapavosti preslikao na novonastalu površinu uz male razlike u parametrima hrapavosti.

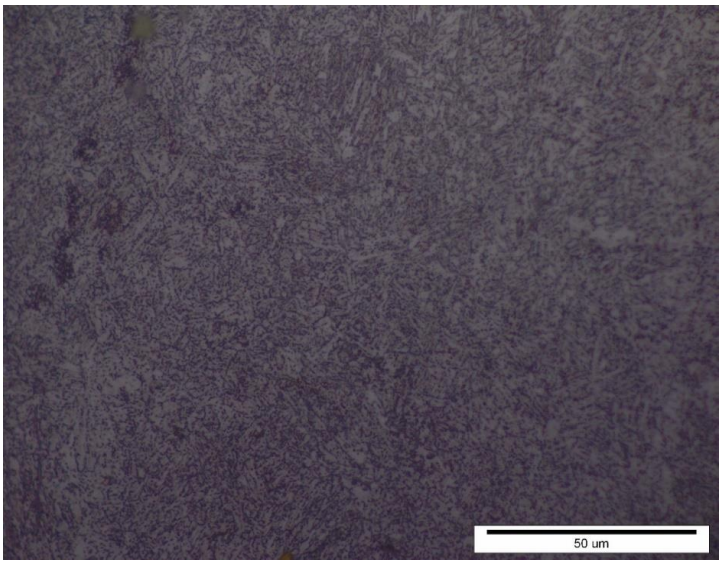


Slika 33. Prikaz mjerenja debljine zone spojeva

Tablica 4. Prikaz zona spojeva i njihovih debljina (Nagriženo 3% NITAL)

A5		CL = 20,84 ± 1,43 µm	D3		CL= 19,46± 1,22 µm
B5		CL= 20,83± 1,58 µm	E5		CL= 19,55± 1,30 µm
C3		CL= 20,29± 1,35 µm	Neobrađena površina		CL= 17,24± 1,27 µm

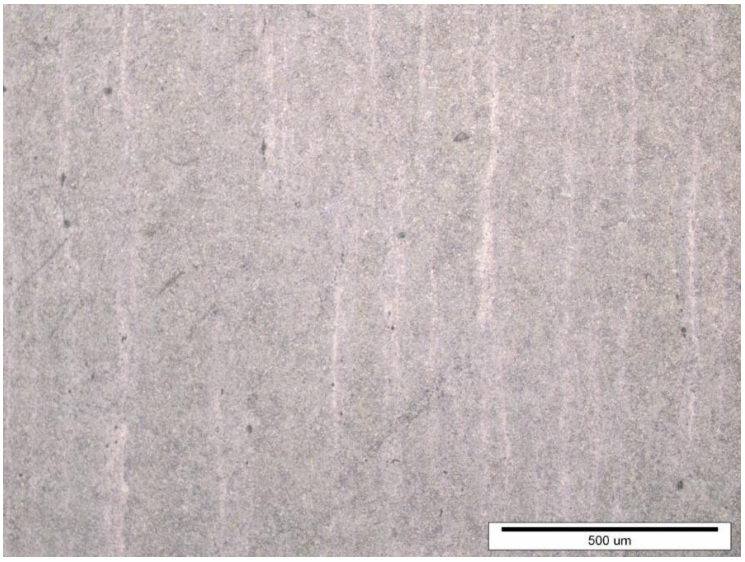
Iz rezultata mjerenja zone spojeva može se zaključiti kako se porastom kvalitete završne površinske obrade dobiva zona spojeva koja također posjeduje višu kvalitetu površine. Sama debljina zone spojeva nešto je manja kod grupa D i E koje su imale višu kvalitetu površine u polaznom stanju u odnosu na grupe A, B i C, no valja primijetiti kako je standardna devijacija također manja kod grupa D i E. Standardna devijacija u ovom slučaju opisuje odstupanje mjerenja od srednje vrijednosti debljine zone spojeva, te se može tumačiti kao mjera odstupanja od ravnosti.



Nagriženo 3% NITAL

Slika 34. Mikrostruktura jezgre (popušteni martenzit) ispitnih uzoraka uz povećanje 1000:1

Jezgra svih ispitnih uzoraka identična je. Homogene je strukture, većinski sačinjena od popuštenog martenzita pomiješanog s malim udjelom bainta bez zaostalog austenita.

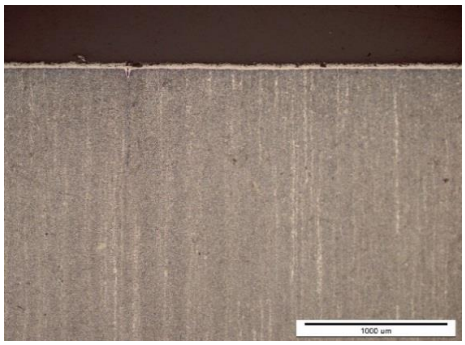
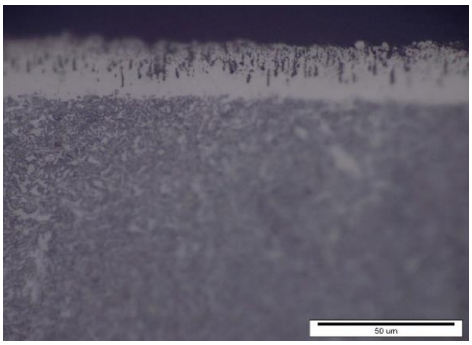
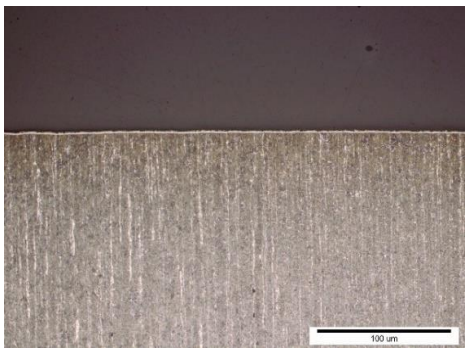
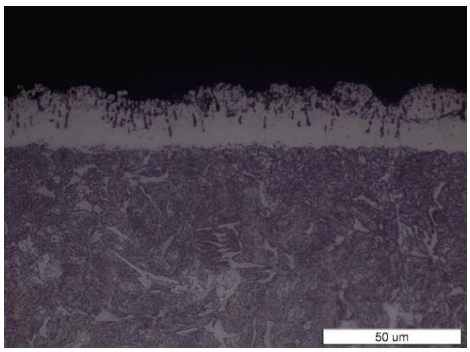
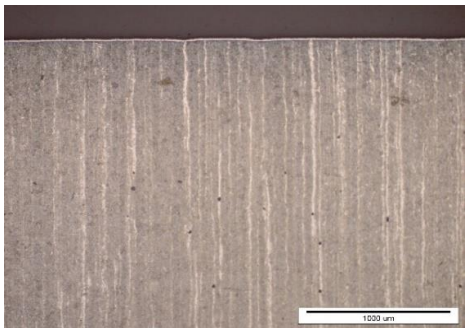
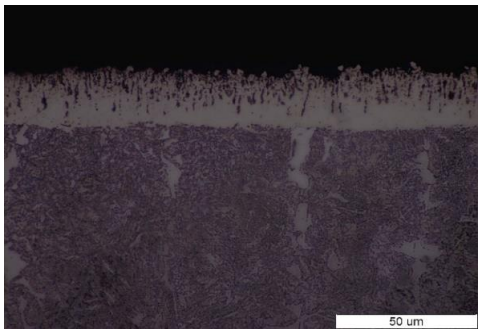
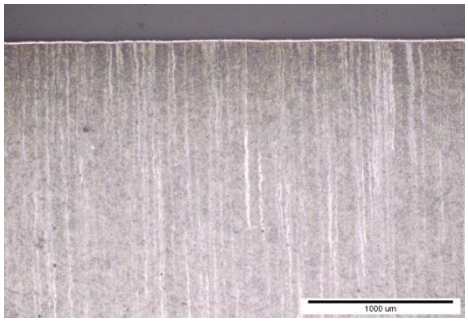
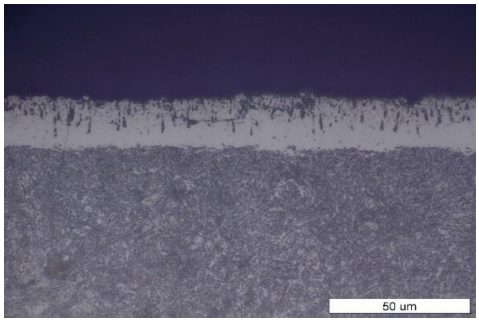
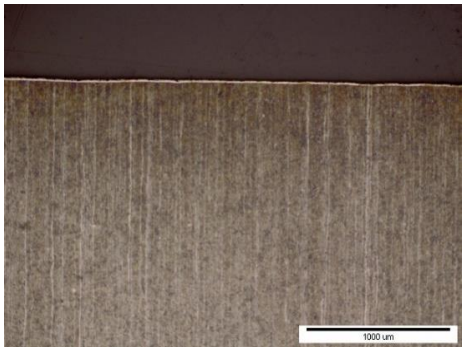
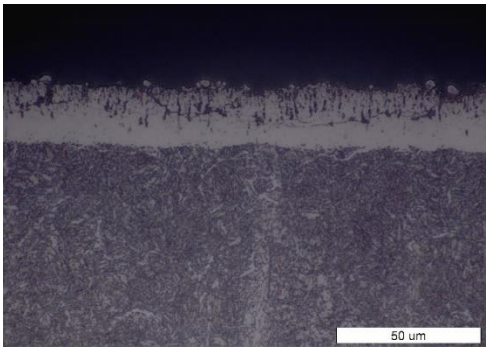


Nagriženo 3% NITAL

Slika 35. Pojava trakavosti u mikrostrukturi jezgre ispitnih uzoraka (povećanje 50:1)

Mikrostruktura jezgre otkriva izraženu trakavost u strukturi. Bijele trake predstavljaju ferit u mikrostrukturi nastao u postupku proizvodnje čelika. Trakasta feritna područja sadrže vrlo nisku konscentraciju ugljika i ne mogu se značajnije otvrdnuti kaljenjem.

Tablica 5. Mikrostruktura nitriranog sloja (Nagriženo 3% NITAL)

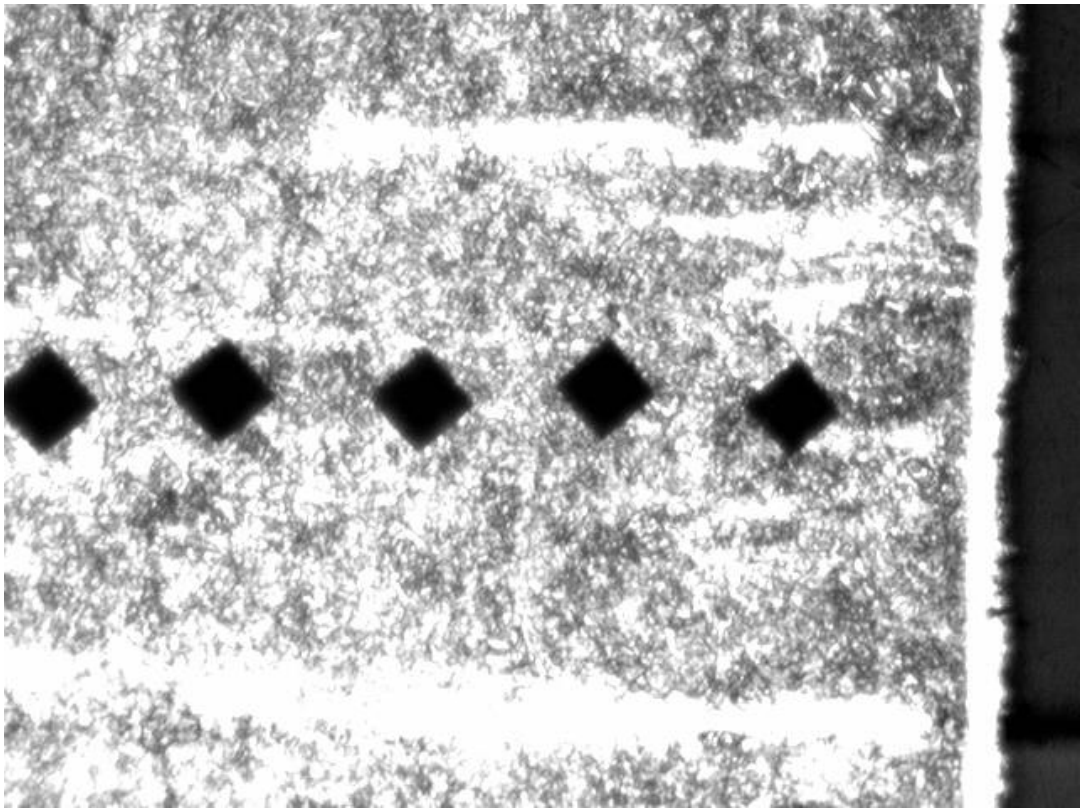
A5		
B5		
C3		
D3		
E3		

Pri povećanju 100x dobiva se uvid u makro izgled površine. Trakavost strukture okomita je na zonu spojeva, što omogućuje precizno mjerenje debljine zone spojeva. Poroznost zone spojeva karakteristična je za proces nitrokarburiranja u solnoj kupci. Poroziteti uzoraka iz grupa A, B i C šire se kroz 50% do 70% dubine zone spojeva. Povećanjem kvalitete površinske pripreme nakon nitrokarburiranja dobiva se manje porozna zona spojeva. Na ispitnim uzorcima iz grupe D i E pri povećanju od 1000x vidljivo je da dubina poroziteta ne prelazi 30% ukupne dubine zone spojeva. Mikro prikaz ispitnog uzorka E3 otkriva pukotine u poroznom dijelu zone spojeva. One su posljedica metalografske pripreme uzoraka za analizu mikrostrukture.

4.8. Analiza mikrotvrdoća

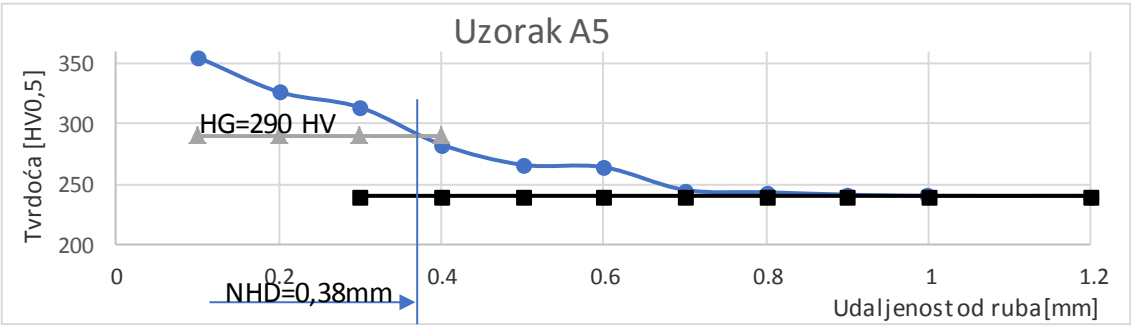
Nakon analize mikrostrukture, na istim poprečnim presjecima provodeno je ispitivanje mikrotvrdiće. Za ispitivanje mikrotvrdoće korišten je poluautomatski tvrdomjer koji se služi Vickersovom metodom HV0,5. Rezultati ovog ispitivanja daju uvid u debljinu difuzijske zone. Prije postupka nitrokarburiranja na površini ispitnih uzoraka izmjerena je tvrdoća kako bi se dobila referenca. Prosječna vrijednost početne tvrdoće iznosi 225 HV0,5. Na svakom ispitnom uzorku provode se tri mjerenja tvrdoće u jezgri, nakon čega kreće niz mjerenja od obrađene površine prema jezgri. U trenutku kada tvrdoća uz rub padne do iznosa tvrdoće jezgre proglašava se krajnja dubina difuzijske zone.

Slika 36. Mikrotvrdomjer Instrom Tukon 2010B

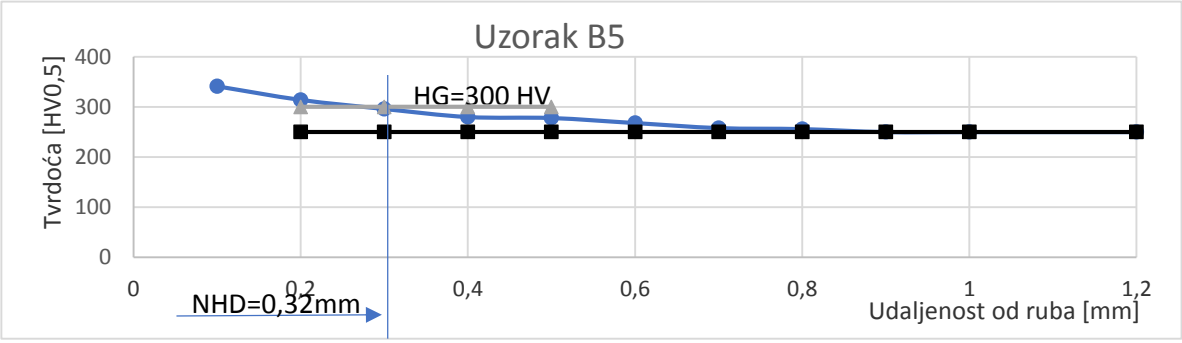


Slika 37. Prikaz niza otisaka u rubnom sloju nakon ispitivanja tvrdoće metodom Vickers HV0,5

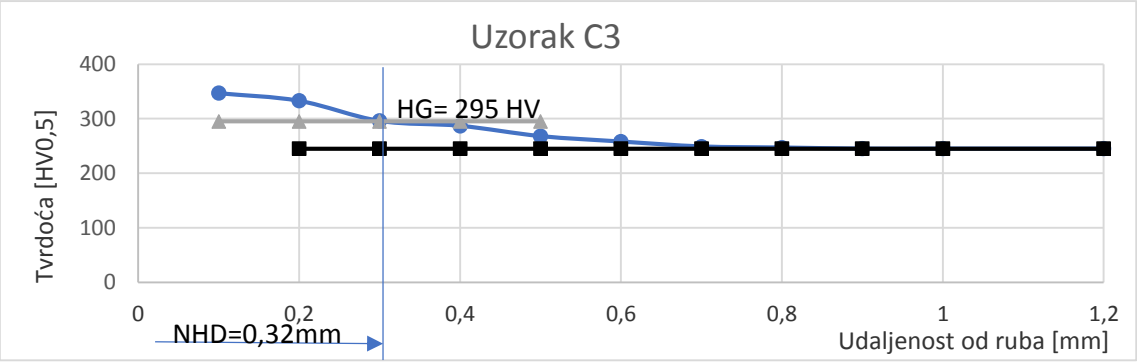
Prilikom udaljavanja od ruba dolazi do pada tvrdoće. Na ***slici 35.*** vidljivo je kako tragovi indentora postepeno rastu s padom tvrdoće.



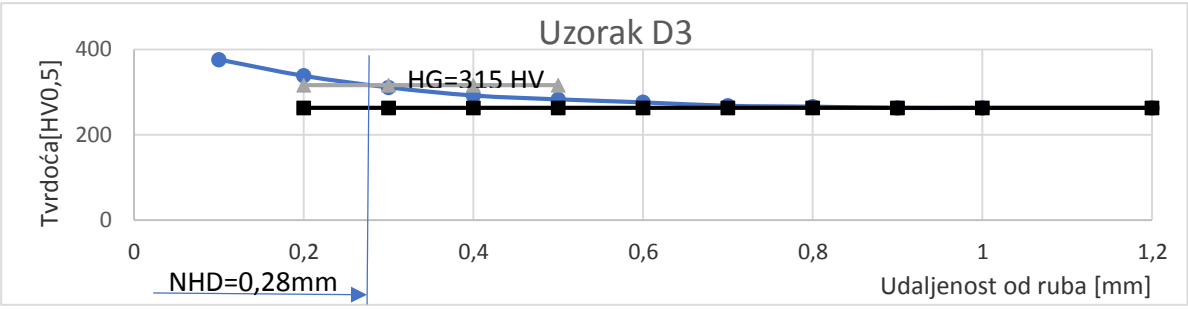
Slika 38. Krivulja tvrdoće ispitnog uzorka A5



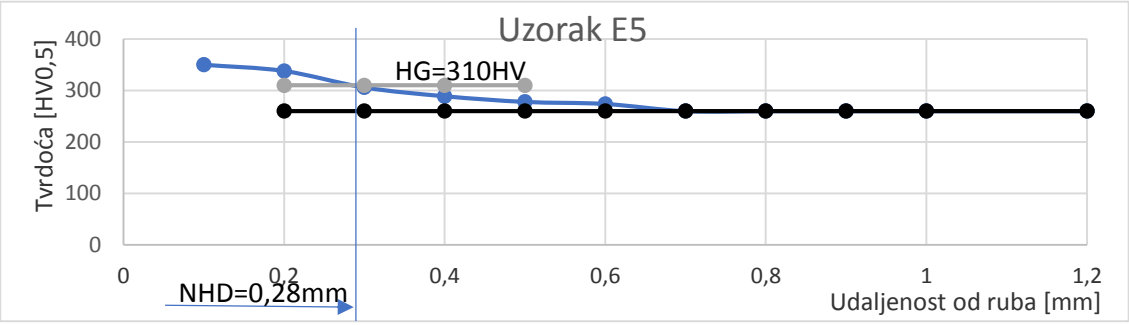
Slika 39. Krivulja tvrdoće ispitnog uzorka B5



Slika 40. Krivulja tvrdoće ispitnog uzorka C3



Slika 41. Krivulja tvrdoće ispitnog uzorka D3



Slika 42. Krivulja tvrdoće ispitnog uzorka E5

Prema normi DIN 50190-3 na ispitnim uzorcima utvrđena je efektivna dubina nitrokarburiranja [14].

Tablica 6. Efektivna dubina nitrokarburiranja ispitnih uzoraka

Obrada površine uzoraka	*Oznaka uzoraka*	*HG, [HV0,5]*	*NHD, [mm]*
Pjeskarenje	A	290	0,38
Strojno brušenje	B	300	0,32
Grubo brušenje	C	295	0,32
Fino brušenje	D	315	0,28
Fino brušenje/poliranje	E	310	0,28

Ispitni uzorci grupe D čija je referentna površina fino brušena i grupe E čija je površina fino brušena/polirana pokazuju nešto manju efektivnu dubinu nitrokarburiranog sloja, ali višu graničnu tvrdoću u odnosu na ispitne uzorke grupa A, B i C čije su površine grublje pripremljene.

5. Zaključak

U radu je provedena su ispitivanja svojstva nitrokarburiranog sloja u solnoj kupci TENIFER ovisno o stupnju površinske obrade. Rad se sastoji od teorijskog i eksperimentalnog dijela. Teorijski dio bavi se klasifikacijom i detaljnim opisom postojećih metoda čišćenja i pripreme površine. Navode se prednosti i nedostaci svakog postupka kao i moguće primjene.

Uspoređivanje rezultata ispitivanja dovelo je do zaključka o optimalnoj pripremi površine dijelova izrađenih od čelika C35 koji se podliježu postupku nitrokarburiranja u solnoj kupci TENIFER. Izbor metoda i kvalitete površinske pripreme ovisit će o eksploatacijskim uvjetima te traženim svojstvima površine.

Iz provedenih ispitivanja slijede zaključuje se slijedeće:

- Površine ispitnih uzoraka obrađene finim brušenjem ili poliranjem zanačajnije povećavaju hrapavost nakon nitrokarburiranja u odnosu na grublje obrađene površine.
- Ispitni uzorci sa strojno obrađenom površinom kao i uzorci s brušenom ili pjeskarenom površinom nakon nitrokarburiranja pokazju veću dubinu difuzijske zone u odnosu na uzork s fino brušenom i poliranom površinom.
- Zona spojeva kod pjeskarenih te strojno brušenih i grubo brušenih uzoraka bit će poroznija u odnosu na fino brušene ili polirane površine.
- Utvrđena je manja korozijska postojanost nitrokarburiranog sloja na grublje obrađenim površinama u odnosu na fino obrađene površinama.

Uzevši sve bitne čimbenike u obzir prije nitrokarburiranja čelika C35 u solnoj kupci TENIFER se preporučuje priprema površine brušenjem vodenim brusnim papirima završno s gradacijom u rasponu od #600 do #1200 koje će omogućiti nastanak zone spojeva s najmanjom poroznosti i dobru otpornost na koroziju.

PRILOZI

6. Prilozi

Prilog 1. Rezultati mjerenja mase prije ispitivanja korozijske postojanosti

Uzorak/Grupa	*A*	*B*	*C*	*D*	*E*
1	-	15,0618	14,8592	14,8448	14,8384
2	14,5118	15,0401	14,9652	15,0212	15,0395
3	14,3304	14,8801	-	-	14,9538
4	14,0015	15,7556	15,0492	15,0116	14,9715
5	-	-	14,9526	15,0285	-

Prilog 2. Rezultati mjerenja mase nakon ispitivanja korozijske postojanosti

Uzorak/Grupa	*A*	*B*	*C*	*D*	*E*
1	-	15,0265	14,8267	14,8146	14,8129
2	14,4420	15,0085	14,9326	14,9645	14,9428
3	14,2687	14,8615	-	-	14,9173
4	13,9348	15,7229	15,0127	14,9422	14,9454
5	-	-	14,9221	15,0151	-

Prilog 3. Gubitak mase uzoraka Δm

Uzorak/Grupa	*A*	*B*	*C*	*D*	*E*
1	-	0,0353	0,0325	0,0302	0,0255
2	0,0698	0,0316	0,0326	0,0567	0,0967
3	0,0617	0,0186	-	-	0,0365
4	0,0667	0,0327	0,0365	0,0694	0,0261
5	-	-	0,0305	0,0377	-

Prilog 4. Srednji gubitak mase uzoraka

Grupe uzoraka	*Δm, 72h*	*Δm, 96h*
A	-	0,0661
B	0,0335	0,0257
C	0,0315	0,0346
D	0,0498	0,0472
E	0,0255	0,0313

Prilog 5. Parametri hrapavosti ispitnog uzorka iz grupe A u polaznom stanju

Perthen

LT 5.600 MM
LM 4.000 MM
VB 12.50 YM

LABORATORIJ
ZA PRECIZNA MJERENJA
DUZINA

FAKULTET STROJARSTVA
I BRODOGRADNJE
ZAGREB

OBJEKT:UZORAK A5
NR.:
NAME:G.BARSIC
MESS.-NR.: 5
T1 RHT 6-50 50 6

KENNWERT — STATISTIK N = 5

	LC GS 0.800 MM		X	S	R	MAX	MIN	NN	TN
1	RMAX	YM	6.371	0.576	1.430	7.293	5.863		
2	RZ	YM	5.175	0.377	0.953	5.687	4.734		
3	RA	YM	0.698	0.069	0.146	0.773	0.626		
4	RP	YM	2.834	0.385	0.983	3.394	2.412		
5	RPM	YM	2.291	0.216	0.527	2.673	2.145		
6	WT	YM	2.567	0.462	1.156	3.123	1.967		
7	RT	YM	6.583	0.501	1.389	7.293	5.904		
8	PT	YM	8.357	0.089	2.191	9.463	7.272		

Prilog 6. Parametri hrapavosti ispitnog uzorka iz grupe A u nitrokarburiranom stanju

Perthen

LT 5.600 MM
LM 4.000 MM
VB 12.50 YM

LABORATORIJ
ZA PRECIZNA MJERENJA
DUZINA

FAKULTET STROJARSTVA
I BRODOGRADNJE
ZAGREB

OBJEKT:A5
22.01.2018.
NR.:
NAME:G.BARSIC
MESS.-NR.: 5
T1 RHT 6-50 50 6

KENNWERT — STATISTIK N = 5

	LC GS 0.800 MM		X	S	R	MAX	MIN	NN	TN
1	RMAX	YM	7.040	0.611	1.495	7.672	6.178		
2	RZ	YM	5.744	0.310	0.871	6.169	5.298		
3	RA	YM	0.843	0.040	0.097	0.879	0.782		
4	RP	YM	3.689	0.642	1.559	4.704	3.146		
5	RPM	YM	2.968	0.261	0.726	3.295	2.569		
6	WT	YM	3.073	1.671	4.047	5.554	1.507		
7	RT	YM	7.339	0.658	1.564	7.742	6.178		
8	PT	YM	9.068	1.437	3.653	10.69	7.038		

Prilog 7. Parametri hrapavosti ispitnog uzorka iz grupe B u polaznom stanju

Mahr Perthen

LT 5.600 MM
LM 4.000 MM
VB 125.0 YM

LABORATORIJ
ZA PRECIZNA MJERENJA
DUZINA

FAKULTET STROJARSTVA
I BRODOGRADNJE
ZAGREB

OBJEKT:UZORAK B5
NR.:
NAME:G.BARSIC
MESS.-NR.: 5
T8 FRW-750 750 26

KENNWERT — STATISTIK N = 5

	LC GS 0.800 MM		X	S	R	MAX	MIN	NN	TN
1	RMAX	YM	47.11	5.58	14.53	55.82	41.29		
2	RZ	YM	38.06	2.06	7.71	42.21	34.49		
3	RA	YM	6.76	0.44	1.01	7.30	6.29		
4	RP	YM	21.51	1.75	4.38	23.81	19.43		
5	RPM	YM	16.18	0.77	2.06	17.15	15.09		
6	WT	YM	14.22	1.96	3.96	16.05	12.09		
7	RT	YM	50.58	6.00	13.64	58.48	44.84		
8	PT	YM	57.10	9.21	19.39	67.13	47.74		

Prilog 8. Parametri hrapavosti ispitnog uzorka iz grupe B u nitrokarburiranom stanju

Mahr Perthen

LT 5.600 MM
LM 4.000 MM
VB 62.50 YM

LABORATORIJ
ZA PRECIZNA MJERENJA
DUZINA

FAKULTET STROJARSTVA
I BRODOGRADNJE
ZAGREB

OBJEKT:B5
22.01.2018.
NR.:
NAME:G.BARSIC
MESS.-NR.: 5
T1 RHT 6-50 50 6

KENNWERT — STATISTIK N = 5

	LC GS 0.800 MM		X	S	R	MAX	MIN	NN	TN
1	RMAX	YM	36.79	6.49	17.47	47.42	29.95		
2	RZ	YM	30.72	3.29	8.21	35.55	27.35		
3	RA	YM	5.31	0.26	0.60	5.50	4.90		
4	RP	YM	16.52	1.89	3.91	18.70	14.79		
5	RPM	YM	12.78	0.72	1.64	13.66	12.01		
6	WT	YM	12.76	2.66	6.94	16.62	9.69		
7	RT	YM	39.01	5.11	12.63	47.42	34.79		
8	PT	YM	44.53	7.52	20.50	55.07	34.57		

Prilog 9. Parametri hrapavosti ispitnog uzorka iz grupe C u polaznom stanju

Mahr Perthen

LT 1.750 MM
LM 1.250 MM
VB 12.50 YM

LABORATORIJ
ZA PRECIZNA MJERENJA
DUZINA

FAKULTET STROJARSTVA
I BRODOGRADNJE
ZAGREB

OBJEKT:UZORAK C3

NR.:
NAME:G.BARSIC

MESS.-NR.: 5
T1 RHT 6-50 50 6

KENNWERT — STATISTIK N = 5

	LC GS 0.250 MM		X	S	R	MAX	MIN	NN	TN
1	RMAX	YM	0.526	0.098	0.273	0.681	0.407		
2	RZ	YM	0.408	0.073	0.179	0.481	0.303		
3	RA	YM	0.042	0.005	0.011	0.047	0.035		
4	RP	YM	0.225	0.085	0.210	0.350	0.140		
5	RPM	YM	0.146	0.041	0.108	0.205	0.098		
6	WT	YM	0.113	0.029	0.068	0.142	0.074		
7	RT	YM	0.580	0.108	0.265	0.681	0.416		
8	PT	YM	0.640	0.099	0.262	0.771	0.510		

Prilog 10. Parametri hrapavosti ispitnog uzorka iz grupe C u nitrokarburiranom stanju

Mahr Perthen

LT 5.600 MM
LM 4.000 MM
VB 12.50 YM

LABORATORIJ
ZA PRECIZNA MJERENJA
DUZINA

FAKULTET STROJARSTVA
I BRODOGRADNJE
ZAGREB

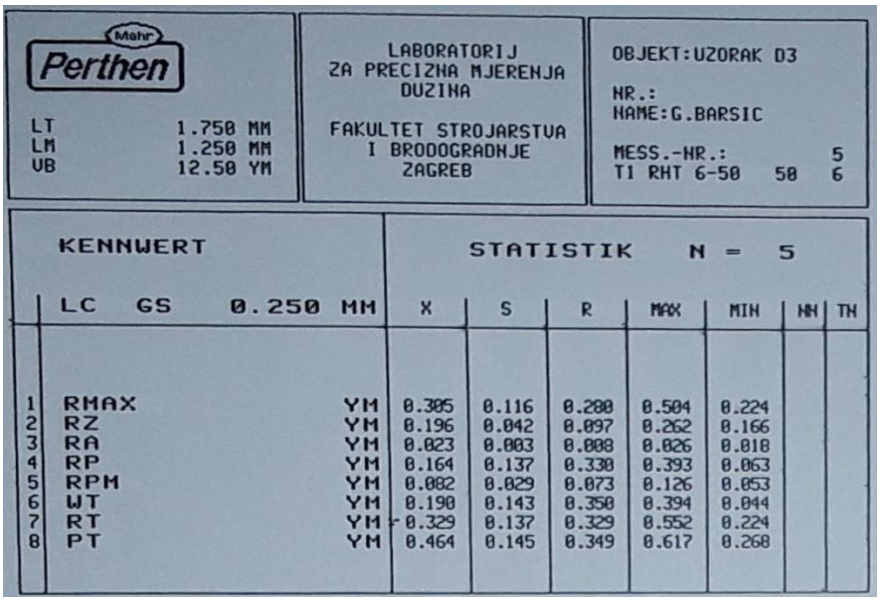
OBJEKT:C3
22.01.2010.
NR.:
NAME:G.BARSIC

MESS.-NR.: 5
T1 RHT 6-50 50 6

KENNWERT — STATISTIK N = 5

	LC GS 0.800 MM		X	S	R	MAX	MIN	NN	TN
1	RMAX	YM	2.798	0.927	2.256	3.873	1.617		
2	RZ	YM	1.963	0.658	1.736	3.011	1.274		
3	RA	YM	0.207	0.033	0.079	0.255	0.175		
4	RP	YM	1.507	0.850	1.985	2.705	0.720		
5	RPM	YM	1.107	0.640	1.590	2.208	0.618		
6	WT	YM	0.567	0.233	0.610	0.933	0.323		
7	RT	YM	2.852	0.932	2.256	3.873	1.617		
8	PT	YM	3.058	1.010	2.463	4.140	1.678		

Prilog 11. Parametri hrapavosti ispitnog uzorka iz grupe D u polazno stanju



Mahr Perthen

LT 1.750 MM
LM 1.250 MM
VB 12.50 YM

LABORATORIJ
ZA PRECIZNA MJERENJA
DUZINA

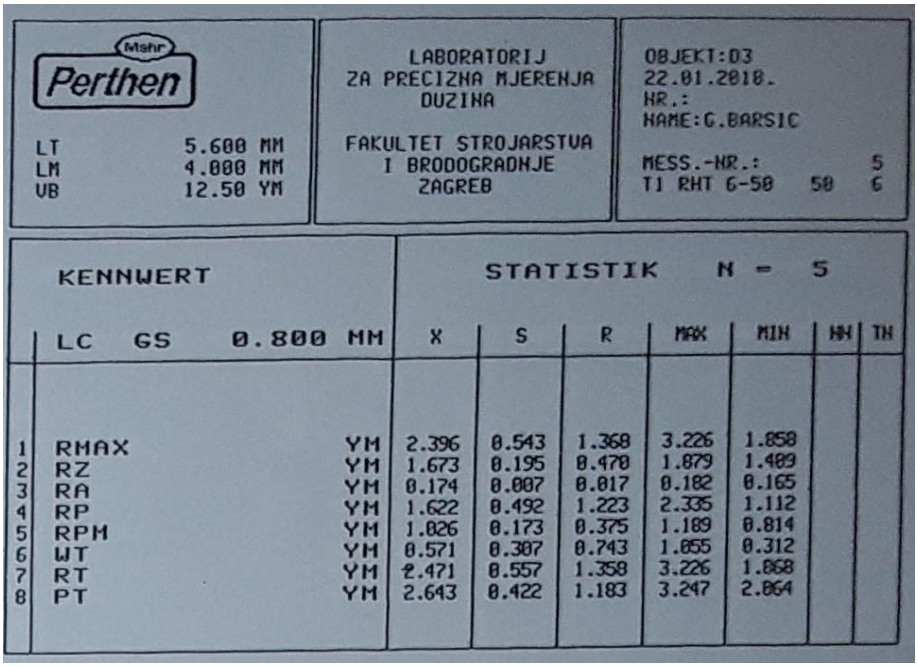
FAKULTET STROJARSTVA
I BRODOGRADNJE
ZAGREB

OBJEKT:UZORAK D3
NR.:
NAME:G.BARSIC
MESS.-NR.: 5
T1 RHT 6-50 50 6

KENNWERT — STATISTIK N = 5

	LC GS 0.250 MM		X	S	R	MAX	MIN	NN	TN
1	RMAX	YM	0.305	0.116	0.280	0.504	0.224		
2	RZ	YM	0.196	0.042	0.097	0.262	0.166		
3	RA	YM	0.023	0.003	0.008	0.026	0.018		
4	RP	YM	0.164	0.137	0.330	0.393	0.063		
5	RPM	YM	0.082	0.029	0.073	0.126	0.053		
6	WT	YM	0.190	0.143	0.350	0.394	0.044		
7	RT	YM	0.329	0.137	0.329	0.552	0.224		
8	PT	YM	0.464	0.145	0.349	0.617	0.268		

Prilog 12. Parametri hrapavosti ispitnog uzorka iz grupe D u nitrokarburiranom stanju



Mahr Perthen

LT 5.600 MM
LM 4.000 MM
VB 12.50 YM

LABORATORIJ
ZA PRECIZNA MJERENJA
DUZINA

FAKULTET STROJARSTVA
I BRODOGRADNJE
ZAGREB

OBJEKT:D3
22.01.2010.
NR.:
NAME:G.BARSIC
MESS.-NR.: 5
T1 RHT 6-50 50 6

KENNWERT — STATISTIK N = 5

	LC GS 0.800 MM		X	S	R	MAX	MIN	NN	TN
1	RMAX	YM	2.396	0.543	1.368	3.226	1.858		
2	RZ	YM	1.673	0.195	0.470	1.879	1.409		
3	RA	YM	0.174	0.007	0.017	0.182	0.165		
4	RP	YM	1.622	0.492	1.223	2.335	1.112		
5	RPM	YM	1.026	0.173	0.375	1.189	0.814		
6	WT	YM	0.571	0.307	0.743	1.055	0.312		
7	RT	YM	2.471	0.557	1.358	3.226	1.868		
8	PT	YM	2.643	0.422	1.183	3.247	2.064		

Prilog 13. Parametri hrapavosti ispitnog uzorka iz grupe E u polaznom stanju

Mahr Perthen

LT 0.560 MM
LM 0.400 MM
VB 12.50 YM

LABORATORIJ
ZA PRECIZNA MJERENJA
DUZINA

FAKULTET STROJARSTVA
I BRODOGRADNJE
ZAGREB

OBJEKT:UZORAK E5
NR.:
NAME:G.BARSIC
MESS.-NR.: 5
T1 RHT 6-50 50 6

KENNWERT STATISTIK N = 5

	LC GS 0.080 MM		X	S	R	MAX	MIN	NN	TN
1	RMAX	YM	0.100	0.037	0.088	0.145	0.057		
2	RZ	YM	0.065	0.013	0.035	0.087	0.052		
3	RA	YM	0.009	0.001	0.004	0.011	0.008		
4	RP	YM	0.065	0.035	0.076	0.103	0.027		
5	RPM	YM	0.034	0.009	0.022	0.046	0.024		
6	WT	YM	0.031	0.007	0.019	0.043	0.024		
7	RT	YM	0:106	0.040	0.096	0.156	0.060		
8	PT	YM	0.127	0.047	0.118	0.190	0.072		

Prilog 14. Parametri hrapavosti ispitnog uzorka iz grupe E u nitrokarburiranom stanju

Mahr Perthen

LT 5.600 MM
LM 4.000 MM
VB 12.50 YM

LABORATORIJ
ZA PRECIZNA MJERENJA
DUZINA

FAKULTET STROJARSTVA
I BRODOGRADNJE
ZAGREB

OBJEKT:E5
22.01.2018.
NR.:
NAME:G.BARSIC
MESS.-NR.: 5
T1 RHT 6-50 50 6

KENNWERT STATISTIK N = 5

	LC GS 0.800 MM		X	S	R	MAX	MIN	NN	TN
1	RMAX	YM	4.329	0.790	2.078	5.656	3.577		
2	RZ	YM	3.371	0.400	0.880	3.705	2.825		
3	RA	YM	0.394	0.048	0.110	0.448	0.338		
4	RP	YM	2.961	0.329	0.855	3.250	2.395		
5	RPM	YM	2.177	0.284	0.745	2.443	1.698		
6	WT	YM	1.764	0.544	1.340	2.570	1.230		
7	RT	YM	4.633	0.791	2.007	5.656	3.648		
8	PT	YM	5.385	0.790	2.058	6.201	4.143		

Prilog 15. Rezultati određivanja debljine zone spojeva

Neobrađena površina [μm]	Uzorak A5 [μm]	Uzorak B3 [μm]	Uzorak C3 [μm]	Uzorak D3 [μm]	Uzorak E5 [μm]
18,6	20,3	19,4	19,9	19,9	21,3
17,6	21,7	20,7	20,9	20,9	20,8
15,9	20,5	19,7	19,5	19,5	20,1
18,2	20,9	18,7	19,5	19,5	19,4
15,9	20,6	19,5	22,1	22,1	18,9
	19,7	19,5	18,1	18,1	19,9
	20,5	21,9	19,3	19,3	20,9
	19,7	20,5	18,1	18,1	16,8
	19,7	18,8	19,5	19,5	18,8
	23,3	20,5	19,8	19,8	18
	20,1	19,7	19,2	19,2	17,9
	24,3	19,3	20,5	20,5	22
	19,2	22,7	18,8	18,8	20,2
	21,3	23,2		17,3	19,7
		20,3			20
					19,5
					19,4
					18,3
St. Dev.=					
1,27397	1,432971	1,581786	1,351965	1,219462	1,301696
Avg.=					
17,24	20,84286	20,825	20,29333	19,46429	19,55

Prilog 16. Rezultati ispitivanja tvrdoće ispitnih uzoraka

Udaljenost od ruba [mm]			0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Tvrdoća [HV05]	Uzorak	A5	356	327	314	283	266	264	245	243	241	245
		B5	341	314	296	280	278	268	258	256	250	252
		C3	347	333	296	287	268	258	249	252	245	250
		D3	376	338	311	292	283	276	268	266		
		E3	350	338	306	289	278	274	260			

Prilog 17. Ispitivanje tvrdoće jezgri ispitnih uzoraka

Uzorak	Mjerenje			Aritmetička sredina
	1.	2.	3.	
A5	225	225	225	225
B5	233	238	238	236,33
C3	231	223	225	226,33
D3	260	268	262	263,33
E5	264	258	260	260,66

LITERATURA

[1] Ivan Jozić: Diplomski Rad , Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2006.
[2] http://www.nitriersalze.com/en/
[3] M. Stupnišek; F. Cajner: Osnove toplinske obrade metala, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2001.
[4] D. Pye: Practical Nitriding and Ferritic Nitrocarburizing , ASM International, 2003.
[5] D.S. Liebl: Idustrial Cleaning Source Book, University of Wiscousin- Extension Solid and Hazardous Waste Education Centar,1993.
[6] www.gumakem.hr/portfolio/biocro-coroclean/
[7] https://www.platit.com/en
[8] http://e-metallicus.com/hr/norme/hrn-din-i-ostale-norme/sto-su-norme-ili-standardi.html
[9] https://steelnavigator.ovako.com/steel-navigator/
[10] M. Atkins: Atlas of continuous cooling transformation diagrams for engineering steels, British Steel Corp., 1979.
[11] https://www.mt.com/us/en/home.html
[12] https://www.fsb.unizg.hr/usb_frontend/files/1515924807-0-mjerenjehrapavostipovrsine.pdf
[13] K. Grilec, S. Jakovljević: Tribologija autorizirana predavanja, FSB Zagreb, 2015.
[14] https://www.emcotest.com/en/the-world-of-hardness-testing/hardness-know-how/applications-tips/curve-measurements/nhd-nitriding-hardness-depth/